

Evaluación de la sostenibilidad en el manejo del agua subterránea en la ciudad de Tunja

Eliana Peña Ibáñez, Camilo Lesmes
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia
Correo-e: eliana.pena@usantoto.edu.co



Resumen

La creciente demanda de agua hace necesario buscar nuevas fuentes que permitan abastecer las necesidades de la creciente población. Es por esta razón que, la explotación del agua subterránea se ha convertido en una de las fuentes principales para las diferentes actividades económicas y sociales que promueven el desarrollo de las regiones. En ciudades como Tunja, que explotan el agua subterránea actualmente, el volumen de agua que recarga el acueducto es de 3.5 millones de metros cúbicos por año, y el volumen anual concesionado a Proactiva es de 3.45 millones de metros cúbicos por año. No obstante, el recurso hídrico de las aguas subterráneas está siendo afectado por diferentes fuentes de contaminación y los efectos del cambio climático y la sobreexplotación debida al aumento poblacional y mayor demanda del recurso. Teniendo en cuenta la importancia del agua subterránea para el abastecimiento del agua potable es necesario realizar una caracterización del sistema de explotación del recurso hídrico y evaluar la sostenibilidad en el manejo del recurso en la zona de estudio, con el fin de proveer la base de estrategias que permitan garantizar la disponibilidad y calidad del recurso hídrico.

Palabras clave: Evaluación de la sostenibilidad, Agua subterránea, Gestión integrada del agua, Sistema de explotación.

Para citar este artículo: Sanchez-Mondragon, J.L. "Análisis del fenómeno de la corrosión en aceros de tipo estructural desde el punto de vista de su uso en la industria de la ingeniería civil." In *L'Esprit Ingenieur*. Vol. 10-1, pp. 35 a 46.

Resumo

A crescente demanda d'água torna necessário a busca de novas fontes para satisfazer as necessidades da população em crescimento. Por esta razão, a exploração das águas subterráneas tornou-se uma das principais fontes para as diferentes atividades económicas e sociais que promovem o desenvolvimento das regiões. Nas cidades como Tunja, que actualmente aproveitam águas subterráneas, o volume de água que recarrega o aqueduto é de 3,5 milhões de metros cúbicos por ano, e o volume anual licenciado para a Proactiva é de 3,45 milhões de metros cúbicos por ano. No entanto, o recurso de águas subterráneas está a ser afetado por diferentes fontes de contaminação e pelos efeitos das alterações climáticas e da sobreexploração devido ao crescimento populacional e ao aumento da demanda do recurso. Levando em conta a importância das águas subterráneas para o abastecimento de água potável, é necessário caracterizar o sistema de exploração dos recursos hídricos e avaliar a sustentabilidade da gestão da água na área de estudo, a fim de fornecer a base para estratégias que tornem possível garantir a disponibilidade e qualidade do recurso hídrico.

O aumento da demanda d'água torna necessário a busca de novas fontes para satisfazer as necessidades da população em crescimento. Por esta razão, a exploração das águas subterráneas tornou-se uma das principais fontes para as diferentes atividades económicas e sociais que promovem o desenvolvimento das regiões. Nas cidades como Tunja, que atualmente aproveitam águas subterráneas, o volume de água que recarrega o aqueduto é de 3,5 milhões de metros cúbicos no ano, e o volume anual licenciado para a Proactiva é de 3,45 milhões de metros cúbicos no ano. No entanto, o recurso de águas subterráneas é afetado por diferentes fontes de contaminação e pelos efeitos das alterações climáticas e da sobreexploração devido ao crescimento da população e o aumento da demanda do recurso. Levando em conta a importância das águas subterráneas para o abastecimento de água potável, faz-se necessária a caracterização do sistema de exploração dos recursos hídricos e a avaliação da sustentabilidade da gestão d'água na área de estudo, visando o fornecimento da base para estratégias que tornem possível garantir a disponibilidade e qualidade do recurso hídrico.

Palavras-chave: Avaliação de sustentabilidade, Águas subterráneas, Gestão integrada da água, Sistema de exploração

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un componente esencial para mantener las economías, para poder expandirlas y para promover la creación de nuevos empleos que permitan una mayor inclusión social fomentando así el crecimiento económico, el cual puede verse limitado por la escasez de este recurso y la creciente demanda [1]. La falta de agua se ha convertido en una problemática que afecta a cerca de la mitad de la población en el mundo, cuyo crecimiento establece el consumo, ya que con el crecimiento demográfico aumenta el consumo de agua [2]. Actualmente, los gobiernos del mundo se enfrentan a la escasez de este recurso, es por ello que se han visto en la necesidad de buscar otras fuentes que permitan cubrir la demanda de agua, para lo cual, el agua subterránea se ha convertido en una fuente de abastecimiento bastante importante debido a su gran aporte, ya que por lo menos el 50% de la población mundial se abastece de esta fuente [3]. Durante los últimos 50 años la explotación del agua subterránea se ha incrementado debido a que esta es de buena calidad, confiable y a un costo accesible [4]. Sin embargo, a medida que crece la población y la demanda de agua, surgen problemáticas que en el futuro pueden limitar el uso del agua como son la contaminación de las fuentes de abastecimiento, la sobreexplotación y el cambio climático; sobre esta base se hace necesario empezar a replantear, los sistemas de explotación y gestión del agua, de manera que se garantice la sostenibilidad en el aprovechamiento de las aguas subterráneas. El crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización, el aumento de la producción y el consumo han generado una demanda de agua dulce cada vez mayor, por cual se prevé que en 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% si no se cambia el modo en que se usa [3]. Latinoamérica cuenta con la tercera parte del agua del planeta, pero aun así hay existe escasez en el continente, la cual limita el desarrollo de la industria, la minería y la agricultura de la región [5], siendo uno de los factores del débil crecimiento económico. El déficit que presentan los servicios de agua y saneamiento tiene que ver principalmente con la falta de infraestructura e inadecuados sistemas de gobernabilidad y no con la disponibilidad del recurso [6]. Latinoamérica tiene grandes reservas de agua que deben ser protegidas y aprovechadas eficientemente para poder suplir las necesidades futuras y dar paso al crecimiento económico de la región, el cual es bastante crítico debido a la deficiente administración de los recursos naturales de los cuales se dispone.

Acercándose más a la zona de estudio, el rendimiento hídrico promedio de Colombia equivale a 6 veces el promedio mundial y a 3 veces el de Latinoamérica, además cuenta con reservas de aguas subterráneas que triplican esta oferta y se distribuyen en el 74% del territorio nacional; se estima que hay una oferta hídrica potencial de agua subterránea de 5.848 Km³ [7]. La región cuenta con un potencial hídrico importante que debe ser protegido, por medio de metodologías que permitan que las ciudades se conviertan en ciudades sostenibles en cuanto al manejo del recurso hídrico, empleando modelos de gestión eficientes, teniendo en cuenta factores como el uso adecuado de los recursos, la implementación de medidas de protección, los impactos del cambio climático y la explosión demográfica; siendo estos dos últimos aspectos los más relevantes en la zona de estudio. Tunja es una ciudad colombiana localizada en la cordillera oriental. Tiene una extensión de 121.5 Km² y una población de 199000 habitantes [8]. Las ramas de mayor actividad económica son los servicios correspondientes a educación y salud (34.5%), seguido de comercio, hoteles y restaurantes (30.1%) [9]. Su temperatura promedio es de 13°C y su precipitación anual promedio es de 630.1 mm [10]. El abastecimiento del agua proviene del embalse Teatinos y la explotación del agua se realiza mediante la perforación y explotación de 16 pozos los cuales se encuentran distribuidos en toda la ciudad [11]; según la información suministrada por Proactiva, el agua extraída por estos pozos abastece el 30% de la demanda en épocas de verano [11].

Esta investigación busca realizar una caracterización del sistema de explotación de recurso hídrico y evaluar la sostenibilidad del mismo, por medio del enfoque canadiense Groundwater Sustainability Assessment Approach, el cual dentro del modelo conceptual Driver-Pressure-State-Impact-Response plantea 5 objetivos de sostenibilidad y a su vez los indicadores para cada uno de estos objetivos.

2. METODOLOGÍA

En la fase preliminar se realizó la revisión de la información disponible de las entidades que se encuentran a cargo de la gestión y protección del recurso hídrico; posteriormente, se caracterizó el sistema de gestión del agua, y finalmente, se eligió para la evaluación de la sostenibilidad el enfoque canadiense Groundwater Sustainability Assessment Approach (GSAA), cuyos indicadores se divide en 5 categorías: Cantidad, Calidad, Ecosistema, Socioeconómico y Gobernanza. La ciudad de Tunja representa el caso de muchas ciudades que se han enfrentado a la escasez de agua, y que explotan el agua subterránea para cubrir la demanda; durante los últimos años, el sistema de gestión del agua ha mejorado considerablemente con la ampliación de las redes de acueducto y alcantarillado, y con la puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales. A continuación, se explicarán las fases de la investigación.

3. RESULTADOS

3.1 Sistema de Gestión del Agua en la ciudad de Tunja

El sistema de Gestión de agua en la ciudad se realizó teniendo en cuenta 4 componentes: atmosférico, suelo, tratamiento de agua y uso del agua. En la figura 1 se muestra cada componente con sus respectivos flujos y procesos. Tunja es una de las ciudades donde menos llueve, presenta una precipitación promedio anual de 630.1 mm, tiene dos épocas de lluvia que van desde marzo hasta mayo, y de octubre a Diciembre [9]. Dentro de estos periodos se intercalan los meses secos que se presentan desde junio a agosto, y de diciembre a marzo. El abastecimiento de agua en la ciudad proviene de una fuente superficial y una subterránea, las cuales dependen de la precipitación.

El agua que consume la población proviene de la planta de tratamiento de agua potable que recibe las aguas del embalse Teatinos y los 16 pozos de agua subterránea; anualmente, se infiltran 3.5 millones de metros cúbicos de agua y se extraen 3.45 millones de metros cúbicos. Este volumen de agua abastece a cerca de 199000 habitantes que se localizan en la zona urbana de la ciudad. Así mismo, la planta de tratamiento de aguas residuales permite remover casi el 80% de la carga contaminante [12] que se vierte al Río Jordán. El mantenimiento de la red de acueducto y alcantarillado ha permitido disminuir las pérdidas de agua que se infiltran en el suelo hasta en un 20%.

a. Evaluación de la Sostenibilidad

Con el fin de proveer información estratégica a la ciudad para la preservación del agua y su calidad, además de promover la buena gobernanza, se evaluó la sostenibilidad del sistema de gestión del agua por medio de la metodología Groundwater Sustainability Assessment Approach (GSAA). Este enfoque evaluó 39 indicadores de sostenibilidad del agua, los cuales se calificaron por medio de documentos oficiales y se encuentran en la Tabla 1; en la Figura

2, se encuentra de manera resumida la calificación de los indicadores. La evaluación de la sostenibilidad muestra que la disponibilidad del agua puede verse afectada a futuro por el crecimiento de la población, la contaminación y los efectos del cambio climático. Pese a que se han implementado políticas de protección ambiental y a la normatividad vigente estricta, es necesario garantizar su efectivo cumplimiento, y vincular a todos los actores involucrados, quienes en su mayoría por desconocimiento del tema no participan en la protección del recurso hídrico; en este escenario, la población juega un papel importante, ya que su crecimiento demanda más agua y aumenta la emisión de los vertimientos.

- Vulnerabilidad a la contaminación.

En el caso de las áreas donde la comunidad tiene áreas de cultivo es conveniente controlar el uso de los agroquímicos, de manera que se reduzcan las fuentes de contaminación, especialmente en la zona de recarga del acuífero, que son las que permiten la infiltración de agua. Las áreas de recarga corresponden a la Formación Cacho que tiene el 35.6% en la ciudad y la Formación Labor y Tierna que tiene el 18.3%. Así mismo, estas zonas de la ciudad deben protegerse limitando el uso del suelo, ya que la expansión del área urbana y agrícola puede influir en la reducción del volumen de agua que recarga el acuífero. Pese a que la vulnerabilidad a la contaminación en algunas partes de la ciudad es alta, no se ha afectado la calidad del agua del acuífero, lo que permite caracterizarla según el IRCA como apta para consumo humano y no representa un riesgo para la salud humana [13]; dentro de los usos del agua, el doméstico demanda el 84% del volumen extraído [11]. Los parámetros analizados son pH, Temperatura, Sólidos en suspensión, Conductividad, Sodio, Cloruros, Manganeso, Potasio, Sulfatos, Nitrato y Silicio; pero no todos se pudieron caracterizar debido a que no establecen todos los valores permisibles. La buena calidad del agua permite que el tratamiento sea menos costoso y pueda destinarse a varios usos; es por esta razón, que se debe proteger la calidad del agua de las distintas fuentes de contaminación identificadas y preservar las zonas aledañas al acuífero.

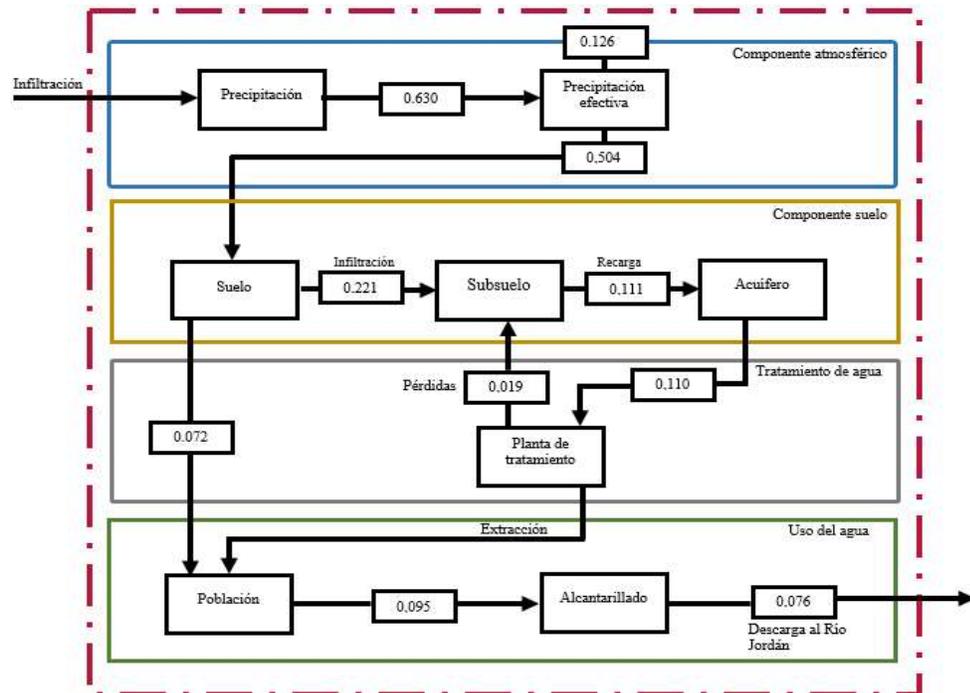


Figura 1. Sistema de agua en la ciudad de Tunja. Unidades $\text{m}^3/\text{s}.\text{m}^2$

- Crecimiento demográfico y cambio climático

El crecimiento de la población y el cambio climático son dos factores que determinan la disponibilidad del agua a lo largo de los años, limitando su explotación; La concesión de aguas de PROACTIVA es de 3.45 millones de metros cúbicos, de los cuales según los registros de CORPOBOYACÁ que van desde 2005 hasta el 2014, año en el cual se utilizó el 70%; de este modo, sería propicio la implementación de medidas que mitiguen los impactos negativos causados por estos dos factores, que aunque en la actualidad no afectan el suministro de agua, a futuro se pueden presentar problemas de escasez. La preservación del ecosistema es vital para mantener el suministro del agua; este alberga cobertura vegetal que por sus características influye en la capacidad del suelo para infiltrar y almacenar agua, además de mejorar las condiciones de los suelos evitando deslizamientos, la erosión y el rápido escurrimiento de las aguas [2]. La dependencia del ecosistema radica en la presencia de cuerpos de agua que se alimentan del agua subterránea, y de los cuales depende la flora y la fauna para subsistir.

- Gobernanza y Socioeconomía

Por último, se tratarán los aspectos socioeconómicos y la gobernanza del agua, lo que requiere de la planeación de estrategias y la gestión de recursos para su implementación. La gestión de los entes gubernamentales ha permitido emitir el Plan Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB), que resume la normatividad ambiental vigente y los instrumentos de gestión para las aguas subterráneas, dentro de los cuales se contempla la protección de los ecosistemas y el seguimiento a las empresas que gestionan el recurso hídrico, para lograr su cumplimiento.

En Tunja, PROACTIVA AGUAS DE TUNJA S.A E.S.P - la empresa que gestiona el recurso hídrico – ha dispuesto año tras año un plan de inversiones con el fin de ampliar la red de acueducto y alcantarillado, permitiendo que la cobertura de estos servicios en la ciudad sea casi del 100% [13]; así mismo, también se ha podido reducir la carga contaminante de los vertimientos gracias a la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales, que funciona desde finales del año 2016 [12], pero que aún no ha sido terminada. Estas y otras mejoras han permitido a PROACTIVA AGUAS DE TUNJA S.A E.S.P, mejorar la prestación del servicio de acueducto y alcantarillado, y alcanzar un mayor nivel de cumplimiento de la normatividad vigente, según lo exige la superintendencia de servicios públicos domiciliarios. Aunque el agua de Tunja es buena y el reglamento operativo se cumple, la tarifa del agua es elevada y se encuentra dentro de las más caras del país.

Finalmente, el promedio de la evaluación de la sostenibilidad es de 6.2, con lo que se puede decir que sistema de gestión es sostenible, pero que requiere de una revisión que permita alcanzar en su totalidad los objetivos planteados en la metodología.

Figura 2. Evaluación de la Sostenibilidad. Valores asignados a los indicadores según la Metodología (Ver Tabla 1)

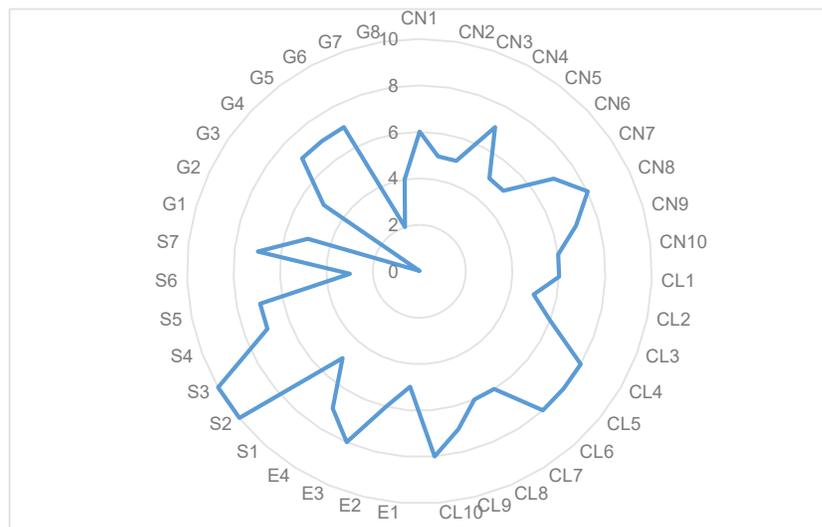


Tabla 1 Evaluación de los indicadores

Objetivo	Indicador	Descripción	Valor	Justificación
CANTIDAD	Crecimiento de la población. CN1	La demanda del recurso hídrico depende del número de habitantes.	6	Debido a que Tunja se ha convertido en un centro de educación importante, la mayoría de la población se caracteriza por ser joven. Actualmente, se estima que la población es de 199000 habitantes. [8]
	Recarga. CN2	La recarga de los acuíferos es importante para el abastecimiento de agua y la preservación del agua.	5	La recarga es de 3.500.000 m ³ /año, lo que equivale a casi a la mitad del agua que almacena el acuífero. [11]
	Extracción total de agua subterránea. CN3	La extracción de agua puede indicar si se está sobreexplotando el recurso hídrico.	5	El volumen extraído es 3.458.236 m ³ /año, y es muy cercano al que se recarga. [11]
	Usos del agua. CN4	Usos del agua de acuerdo con las actividades que se realizan.	7	El principal uso del agua es doméstico (84.7%), seguido del agrícola (10%). [11]
	Transmisividad regional. CN5	Parámetro hidráulico que permite conocer la capacidad del acuífero para transmitir agua.	5	La transmisividad varía de baja a alta, esta se encuentra entre 25 y 1067m ² /d. [11]
	Porcentaje de agua concesionada utilizada. CN6	El porcentaje de agua utilizada indica que el estado del recurso se encuentra en excelentes condiciones y que un mayor uso no hará que ese estado se deteriore.	5	Durante los últimos años se ha incrementado el uso del agua en la ciudad; y según los registros de PROACTIVA de los años 2005 a 2014, se utilizó casi un 70% del agua concesionada. [11]
	Área de recarga. CN7	Las áreas de recarga son importantes para alimentar el acuífero, por medio de la lluvia.	7	El área de recarga presente en la ciudad corresponde al 35. 6% de la formación Cacho y al 18.3% de la formación Labor y Tierna. [11]
	Reglamento Operativo de Instalaciones de Agua Potable y Aguas Residuales. CN8	Los sistemas de acueducto y alcantarillado deben cumplir con lo especificado en El RAS. Su cumplimiento permite que toda la población tenga acceso a estos servicios.	8	La empresa PROACTIVA cumple los requerimientos exigidos por la normatividad colombiana, esto se evidencia en la última evaluación realizada en el 2018 por la SSPD

Objetivo	Indicador	Descripción	Valor	Justificación
	Influencia del cambio climático en las aguas subterráneas. CN9	El cambio climático interfiere en frecuencia e intensidad de las lluvias.	7	Pese a que el fenómeno del Niño interfiere en la precipitación, el volumen que se recarga se ha mantenido y cubre la oferta. Pero hay que resaltar que el volumen extraído tiende a ser cercano con el recargado, por lo que en épocas donde se presente poca lluvia los niveles de agua pueden disminuir considerablemente.
	Precipitación. CN10	La precipitación abastece los acuíferos, y de ella depende el volumen de agua almacenado.	6	La precipitación anual en Tunja es una de las más bajas en el país: 630.1 mm [11]
CALIDAD	Número de proyectos de desarrollo en curso. CL1	La implementación de proyectos mejora la calidad y protege la disponibilidad del recurso hídrico.	6	Actualmente existen 19 proyectos, los cuales a su vez se dividen en programas que buscan la preservación del recurso hídrico; estos proyectos aún se encuentran en la etapa de implementación.
	Vulnerabilidad del agua subterránea. CL2	Este indicador establece qué tan vulnerable es la zona de estudio.	5	La vulnerabilidad en la zona de estudio varía de baja a alta.
	Uso de agroquímicos. CL3	Indica si los agroquímicos son una fuente potencial de contaminación del agua subterránea.	6	Pese a que no hay fuerte dependencia agrícola en la zona de estudio, el uso de estas sustancias se realiza sin control alguno. [11]
	Parámetros de calidad del agua. CL4	Los parámetros de la calidad permiten caracterizar el agua y definir sus usos.	8	A partir del análisis de los parámetros de la calidad del agua se pudo determinar que el agua se puede destinar para uso doméstico, agrícola e industrial. [11]
	IRCA Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo Humano. CL5	El índice IRCA determina si el agua es apta o no para el consumo humano, y las acciones que se deben implementar en el caso de que no sea apta para consumo humano.	8	El IRCA determina que el agua de la zona de estudio es apta para consumo humano y no representa un riesgo para la salud humana; según los registros de este índice en los años 2016 y 2017, su valor no fue mayor a 2.6. [12]
	Reglamento Operativo de Instalaciones de Agua Potable y Aguas Residuales. CL6	Los sistemas de acueducto y alcantarillado deben cumplir con lo especificado en El RAS. Su cumplimiento permite preservar la calidad del agua.	8	La empresa PROACTIVA cumple los requerimientos exigidos por la normatividad colombiana, esto se evidencia en la última evaluación realizada en el 2018 por la SSPD
	Disposición de residuos sólidos y líquidos. CL7	La adecuada disposición de los residuos permite el aprovechamiento de los mismos, y a su vez evita la contaminación de las aguas subterráneas.	6	En la ciudad de Tunja se recogen 4119 Ton/mes de residuos sólidos (SERVI-TUNJA), los cuales no se aprovechan en su totalidad.
	Fugas de agua del sistema de alcantarillado. CL8	Las fugas del sistema de alcantarillado pueden ser una fuente de contaminación de las aguas subterráneas.	6	Las fugas representan el 20% del agua que se transporta en el sistema, y está por debajo del valor permisible de pérdidas.
	Recursos para mejorar la infraestructura CL9	Indica los recursos que se utilizaron para mejorar las instalaciones, la calidad del agua, la reducción de pérdidas, entre otros.	7	Después de muchos años de espera, a finales del año 2016 entró en funcionamiento la PTAR, pero no todos sus módulos se han entregado [13]. Por su parte, PROACTIVA ha invertido recursos para separar el alcantarillado combinado, la reparación y el mantenimiento de las redes existentes en la ciudad [14].

Objetivo	Indicador	Descripción	Valor	Justificación
	Influencia del cambio climático en las aguas subterráneas. CL10	Efectos del cambio climático que pueden alterar la calidad del agua subterránea.	8	Pese a los efectos adversos del cambio climático, la calidad del agua se ha conservado.
ECOSISTEMA	Número de especies en riesgo. E1	Establecer las especies que se encuentran en riesgo.	5	Dentro de las especies que se encuentran en peligro se encuentran 18 especies animales como aves, anfibios y mamíferos; y 20 corresponden a especies vegetales; estas especies son vitales para mantener el equilibrio del ecosistema [11]
	Cobertura vegetal. E2	La cobertura vegetal es importante para proteger las áreas de recarga y los suelos.	6	La cobertura vegetal de la zona de estudio ha cambiado durante los años debido a la expansión urbana, y a las actividades agrícolas y ganaderas que se realizan a pequeña escala [11]
	Dependencia del ecosistema del agua subterránea. E3	Los ecosistemas albergan gran variedad de especies que dependen del agua. Este indicador refleja la importancia del agua subterránea para el ecosistema.	8	El ecosistema alberga gran variedad de fauna y flora, que incluye aves, mamíferos, anfibios, bosques y zonas de cultivo, los cuales se localizan cerca de los ríos, quebradas y humedales que dependen del agua subterránea.
	Relación de humedales y aguas subterráneas. E4	Los humedales son ecosistemas bastante importantes debido a su capacidad de regulación hídrica. Este indicador refleja la influencia del agua subterránea para la preservación de los humedales de la ciudad.	7	La ciudad de Tunja cuenta con varios humedales que se abastecen de las aguas subterráneas, dentro de los cuales se encuentran: Tejares del Norte, La Cascada, Fuente Chiquita, Parque Recreacional, Colegio La Presentación, La Cabaña y El Cobre [11]
SOCIOECONÓMICOS	Acceso de aguas subterráneas. S1	El % de la población abastecida por las aguas subterráneas.	5	El agua subterránea provee el 30% de agua para la ciudad en época de verano [11]
	Cobertura de Acueducto. S2	% de la población con acceso agua potable	10	La cobertura de acueducto en la ciudad es del 100% [12]
	Cobertura de Alcantarillado. S3	% de la población con acceso a saneamiento	10	La cobertura de alcantarillado en la ciudad es del 99% [12]
	Dependencia agrícola. S4	La dependencia agrícola define la cantidad de agua necesaria para el desarrollo de las actividades agrícolas y posibles fuentes de contaminación.	7	En la zona de estudio no hay fuerte dependencia agrícola, ya que solo el 10% del agua extraída se usa para riego y el 2% para actividades pecuarias [11]
	Uso eficiente del agua subterránea. S5	Los usuarios deben contribuir a la preservación del agua subterránea.	7	Para lograr el uso eficiente de agua en la ciudad PROACTIVA diseñó u ejecutó en la ciudad el Programa uso Eficiente y Ahorro de Agua [11]
	Precio del agua. S6	Indicador que establece el valor del m ³ de agua y el cargo fijo en la ciudad.	3	Las tarifas de consumo básico y cargo fijo son bastante costosas comparadas con otras ciudades del país como Bogotá, Medellín, Cali, Villavicencio y Barranquilla.
	Requisitos de tratamiento de aguas subterráneas. S7	El indicador proporciona información sobre la calidad del agua y los tratamientos requeridos para que esta sea mejor.	7	Para la potabilización del agua subterránea se realizan los procesos de aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y estabilización del pH; el agua subterránea de la zona de estudio permite el uso de técnicas de tratamiento para mejorarla y potabilizarla [11]

Objetivo	Indicador	Descripción	Valor	Justificación
GOBERNANZA	Implementación de medidas para disminuir la presión sobre los recursos de agua subterránea. G1	La implementación de sanciones económicas y pedagógicas puede disminuir la presión inducida por el hombre a los recursos hídricos.	5	La resolución 763 de 2016 derogó las resoluciones 726 y 749 emitidas por la CRA, que sancionaban a los usuarios que excedían el consumo básico; ahora, según el artículo 100 del código de policía se sanciona a las personas que no contribuyan a la preservación del recurso hídrico.
	Monitoreo. G2	La autoridad competente debe realizar debe ordenar y ejecutar el monitoreo, evaluación e informe del estado de las aguas subterráneas / acuíferos antes, durante y después de la explotación, para mantener la calidad y a disponibilidad del recurso hídrico.	0	Los monitoreos realizados a los pozos de extracción de agua no se han realizado de manera que se pueda obtener resultados confiables en cuanto a los niveles de aguas, y así determinar si hay un descenso en los niveles de agua.
	Protección de las áreas de importancia. G3	Este indicador permite establecer la delimitación y la protección de las áreas de importancia.	5	En la ciudad se han delimitado las áreas de importancia para la implementación de medidas de protección.
	Acción del gobierno. G4	Participación del gobierno en la preservación del recurso hídrico.	7	Para la preservación de las aguas subterráneas el MADS, creó el PNASUB que sigue los lineamientos del PNGIRH. Estos planes diseñados por el MADS tienen objetivos planteados que esperan cumplir en el año 2020 [15]
	Efectividad de las estrategias de gestión de recursos. G5	Este indicador mide la planificación de la gestión y uso de recursos, la presencia de la autoridad competente para la toma de decisiones y la administración de los recursos humanos y financieros.	7	Para llevar a cabo los proyectos se gestionaron recursos que fueron aportados por el municipio, el departamento y la empresa prestadora del servicio [11]
	Efectividad de las estructuras legales. G6	Este indicador se mide por la existencia de una legislación adecuada en cuanto a la regulación sobre la explotación del agua subterránea, y su cumplimiento.	7	Existe una estructura legal que es bastante exigente, la cual se establece en el PNASUB 2014. Por su parte, la empresa prestadora del servicio ha aumentado el nivel de cumplimiento de los requerimientos legales, según la última evaluación realizada por la SSPD [13]
	Representación, participación efectiva y equitativa de los actores involucrados. G7	Definir los actores involucrados y su rol en la preservación del recurso hídrico.	2	La participación de los actores involucrados en la preservación del recurso hídrico es escasa debido al desconocimiento del tema [13]
	Cumplimiento de los planes de gestión por parte de los usuarios. G8	Mejorar la disposición de las personas para lograr la gestión sostenible de las aguas subterráneas aumentar, la participación de los usuarios en la vigilancia, el monitoreo y la aplicación de la ley, y garantizar la transparencia.	4	Debido al desconocimiento sobre la preservación del recurso hídrico se hizo necesario realizar actividades pedagógicas que permitieran sensibilizar a la población

4. CONCLUSIONES

En un sistema de explotación del recurso hídrico una evaluación de la sostenibilidad en cuanto a su manejo es de vital importancia para establecer estrategias de optimización, adecuación, implementación o desarrollo de nuevos procesos que permitan aumentar la sostenibilidad

en el manejo del recurso. La ciudad de Tunja ha afrontado problemas de abastecimiento de agua, y los ha solucionado por medio de la explotación del agua subterránea. En su momento, la escasez de agua hizo que el crecimiento de la ciudad se estancara, pero gracias al sistema de gestión del agua que explota una fuente superficial y una subterránea, se logró dar paso al desarrollo económico y social de la ciudad. Con esta investigación se ha podido determinar que la gestión del agua es sostenible, pero requiere mejorar las estrategias de participación de las partes interesadas, proteger las áreas de importancia y las de recarga, diseñar planes de adaptación al cambio climático, definir el volumen de agua que se puede explotar sosteniblemente, prever el crecimiento de la población y sus incidencias en el consumo del agua, y realizar el monitoreo del nivel del agua en los pozos de extracción. Teniendo en cuenta lo anterior se puede lograr que el sistema de explotación sea más sostenible, y logre preservar las grandes reservas de agua y de excelente calidad que tiene la ciudad, de modo que se contrarreste la escasez de agua.

5. REFERENCIAS

- [1] WWAP. (2016). Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Agua y empleo. París, Francia: UNESCO. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002322/232273S.pdf>
- [2] WWAP. (2018). Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París, Francia. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261494s.pdf>
- [3] WWAP. (2015). Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo 2015. Agua para un mundo sostenible. París, Francia. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002322/232273S.pdf>
- [4] UNESCO. (2017). El agua subterránea en un medio cambiante. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/es/office-in-Montevideo/natural-sciences/water-ihp-%20lac/ground-water/>
- [5] Arroyo, V. (2017). Banco de Desarrollo de América Latina. Obtenido de <https://www.caf.com/es/conocimiento/blog/2017/07/la-paradoja-de-la-escasez-de-agua-en-america-latina>
- [6] CAF. (2017). Banco de Desarrollo de América Latina. Obtenido de <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2017/06/america-latina-una-region-economicamente-escasa-de-agua/>
- [7] DEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D.C. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- [8] DANE. (2005). Proyecciones de población. Bogotá. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- [9] DANE. (2016). Informe de Coyuntura Regional Económica. ICER 2015. Banco de la República. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/icer/2015/ICER_Boyaca_2015.pdf

- [10] CORPOBOYACÁ. (2015). Informe de Aprestamiento. Formulación Plan de Manejo Ambiental.
- [11] CORPOBOYACÁ. (2016). Informe de Diagnóstico. Formulación Plan de Manejo Ambiental. Tunja
- [12] EL TIEMPO. (octubre de 2016). Planta de Tunja, un alivio para la contaminación del río Jordán. Bogotá. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16724670>
- [13] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Evaluación Integral de Prestadores. Obtenido de <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Acueducto%2C%20alcantarillado%20y%20aseo/Acueducto%20y%20Alcantarillado/2018/Sep/e.i.proactivatunja.pdf>
- [14] PROACTIVA. (2017). Plan de Inversiones 2017 y 2018. Tunja. Obtenido de <http://www.proactiva.com.co/tunja/plan-de-inversiones/>
- [15] MADS. (2014). Programa Nacional de Aguas Subterráneas. Bogotá. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/acuiferos/programa-nacional-de-aguas-subterranas#documentos-de-inter%C3%A9s>