



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY
DEPARTAMENTO DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN ESTUDIOS
SOCIOAMBIENTALES CON MENCIÓN EN
CAMBIO CLIMÁTICO, SOSTENIBILIDAD Y
DESARROLLO**

**Evaluación de la sostenibilidad de la gestión integrada de
recursos hídricos en Cuenca – Ecuador**

Autor:

Ing. Civ. Juan Diego Tapia Sisalima

Director:

Ing. Civ. Cristian Iván Coello Granda, MSc.

CUENCA – ECUADOR

ENERO 2021

DEDICATORIA

A mis abuelas, Josefina Tapia (+) y Victoria Jara (+), a quienes no tuve la oportunidad de conocer, pero, estoy seguro, son la razón de ser de la familia.

A mi padre Mauro, a mi madre Carmita, a mi hermano Andrés y a mi hermana María José, quienes durante este año tan difícil enfrentaron un virus que no se compara con la fortaleza y valentía que tuvieron para vencerlo.

A mi esposa, Juana Priscila, mi ángel, mi felicidad y mi paz de todos los días.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa ETAPA EP, por permitir mi crecimiento profesional y personal desde hace cinco años, así como por haber provisto de una parte importante de la información requerida en la presente investigación. Del mismo modo, a su personal gerencial y técnico, compañeras y compañeros, quienes, de una u otra manera, colaboraron para su desarrollo.

A la empresa EMAC EP y a la Dirección General de Planificación Territorial del GADM Cuenca, por haber facilitado la información requerida en el ámbito de sus competencias, así como por la contribución y asesoramiento desinteresado de su personal técnico.

Al Ingeniero Cristian Coello Granda, colega y amigo, quien ha sabido ofrecer su guía a un sinnúmero de estudiantes que hemos tenido la suerte de tenerlo como maestro. Agradezco la confianza, la motivación y el tiempo que hemos compartido.

“Si tienes que lidiar con el agua, consulta primero a la experiencia, luego a la razón.”

*Leonardo da Vinci
(1452- 1519)*

RESUMEN

Con el agua reconocida como el núcleo de la sostenibilidad, la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) proporciona un marco coordinado de planificación y gestión para el abordaje holístico y pragmático de los desafíos intersectoriales complejos inherentes al sector hídrico. Ya que la evaluación de su estado actual resulta imperativa previo a la configuración y puesta en marcha de enfoques innovadores para su resiliencia, el objetivo de esta investigación fue evaluar la sostenibilidad de la GIRH en una ciudad latinoamericana caracterizada por su abundancia de recursos hídricos y en la que la empresa pública de agua y saneamiento se ha erigido como su principal promotora. Se aplicó una metodología basada en indicadores de gestión que permitió identificar las debilidades, fortalezas y problemáticas prioritarias en torno a dicho proceso, ofreciendo información valiosa para la política del agua en el área de estudio que respaldaría la toma de decisiones para su sostenibilidad.

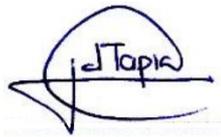
Palabras clave: Agua, Ciudad Intermedia, GIRH, Indicador, Recursos Hídricos, Sostenibilidad.

ABSTRACT

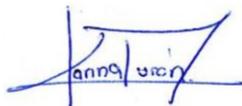
With water recognized as the core of sustainability, Integrated Water Resources Management (IWRM) provides a coordinated planning and management framework for the holistic and pragmatic approach to the complex inter-sectoral challenges inherent to the water sector. Since the evaluation of its current state is imperative prior to the configuration and implementation of innovative approaches that pursue its resilience, the aim of this research was to evaluate the sustainability of IWRM in a Latin American city characterized by its abundance of water resources, in which, the public water and sanitation company has emerged as its main driving force. A methodology based on management indicators was applied and it allowed the identification of weaknesses, strengths and priority problems around the process, offering valuable information for water policy in the study area that would support decision-making for its sustainability.

Keywords: Water, Intermediate City, IWRM, Water Resources, Sustainability.

Translated by

A handwritten signature in blue ink, featuring a stylized 'J' and 'D' followed by the name 'Tapia'.

Juan Diego Tapia-Sisalima, C.E.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Anna Victoria'.

Contenido

1.	Introducción	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	3
1.3	Marco Teórico	7
1.3.1	El agua y la sostenibilidad	7
1.3.2	Los recursos hídricos	8
1.3.3	La gestión integrada de recursos hídricos	10
1.3.4	Evaluación de la GIRH a través de indicadores	13
1.4	Objetivos	16
1.4.1	Objetivo General	16
1.4.2	Objetivos Específicos	16
2.	Materiales y Métodos	17
2.1	Delimitación del área de estudio	17
2.2	Metodología	22
2.2.1	Método City Blueprint Framework	22
2.2.2	Indicadores del método CBF	26
2.3	Información para el cálculo de indicadores	26
3.	Resultados y Discusión	59
3.1	Categoría I: Calidad del agua	59
3.2	Categoría II: Tratamiento de desechos sólidos	65
3.3	Categoría III: Servicios básicos de agua	70
3.4	Categoría IV: Tratamiento de aguas residuales	74
3.5	Categoría V: Infraestructura	79
3.6	Categoría VI: Robustez climática	85
3.7	Categoría VII: Gobernanza	93
3.8	Índice Blue City Index	101
3.9	Discusión de los resultados	103
4.	Conclusiones	106
5.	Referencias	110
6.	Anexos	123
6.1	Anexo I. El derecho humano al agua	123

6.2	Anexo II. Encuesta a personal gerencial y técnico de ETAPA EP.....	127
6.3	Anexo III. Indicadores del método CBF y su relación con los ODS.....	129

Lista de Tablas

Tabla 1. Metodología y características del método CBF.....	24
Tabla 2. Categorización de los niveles de sostenibilidad de la GIRH.	25
Tabla 3. Método CBF: Indicadores por categoría.....	26
Tabla 4. Niveles de tratamiento de aguas residuales.....	27
Tabla 5. Clasificación del JMP para el agua potable doméstica.	35
Tabla 6. Clasificación del JMP para los servicios de saneamiento.	37
Tabla 7. Criterios de autoevaluación para indicadores del método CBF.....	43
Tabla 8. Componentes del balance hídrico.....	52
Tabla 9. Población y caudales proyectados para las principales PTAR en Cuenca.	61
Tabla 10. Criterios de puntuación para la definición de sistemas acuíferos verificados en Ecuador.....	62
Tabla 11. Parámetros de calidad del agua de pozos en la provincia del Azuay según el mapa hidrogeológico del Ecuador.....	62
Tabla 12. Parámetros de calidad del agua subterránea de la unidad hidrogeológica Cañar – Cuenca – Girón.....	63
Tabla 13. Desechos sólidos recolectados por la EMAC EP en el cantón Cuenca – período 2015-2019.....	65
Tabla 14. Coberturas de recolección y tasas de generación per cápita de desechos sólidos en el cantón Cuenca – período 2015-2019.....	65
Tabla 15. Desechos sólidos inorgánicos recuperados por la EMAC EP – período 2015-2019.	66
Tabla 16. Desechos sólidos reciclados por la EMAC EP – período 2015-2019.....	67
Tabla 17. Desechos sólidos orgánicos recuperados para la producción de abono orgánico por la EMAC EP – período 2015-2019.....	67
Tabla 18. Pilas usadas recolectadas por ETAPA EP – período 2004-2019.....	68
Tabla 19. Cobertura del servicio de agua potable en el área de estudio – período 2015-2020.	71
Tabla 20. Índice de calidad de agua distribuida en el área de estudio – período 2015-2020.	74
Tabla 21. Valores promedio de parámetros del afluente a la PTAR de Ucubamba – período 2010-2016.....	74
Tabla 22. Peso de lodos de ETAPA EP dispuestos en el relleno sanitario de Pichacay – período 2013-2018.....	76
Tabla 23. Clasificación del alcantarillado en operación en el área de estudio por tipo de red.	80
Tabla 24. Longitud de redes de alcantarillado existentes de ETAPA EP en el cantón Cuenca – período 2014-2019.....	82
Tabla 25. Índice de agua no contabilizada en el área de estudio – período 2014-2019.	83
Tabla 26. Estado de resultados de ETAPA EP del año 2019.....	84

Tabla 27. Categorías de uso de suelo compatibles con espacios azules y verdes en el área de estudio.	86
Tabla 28. Resultados del programa urbano de educación ambiental 'Agua para Todos' – período 2014-2019.....	89
Tabla 29. Resultados del programa rural de educación ambiental 'Agua Vida' – período 2014-2019.....	90
Tabla 30. Volúmenes anuales de agua potable consumidos en el área de estudio – período 2014-2019.....	91
Tabla 31. Consumo de agua potable autorizado per cápita en el área de estudio – período 2014-2019.....	91
Tabla 32. Producción del Trabajo No Remunerado voluntario en Ecuador – período 2013-2017.....	96
Tabla 33. Índice de Estado de Derecho para Ecuador – período 2016-2020.....	96
Tabla 34. Hogares ecuatorianos que tienen dispositivos de ahorro de agua – período 2014-2018.....	99
Tabla 35. Resultados de los 25 indicadores del método CBF para el área de estudio.	101
Tabla 36. Personal gerencial y técnico de ETAPA EP al que se dirigió la encuesta para el cálculo del indicador 15.....	127
Tabla 37. Respuestas remitidas sobre la antigüedad del sistema de alcantarillado en el área de estudio.	128

Lista de Figuras

Figura 1. Conceptualización de los recursos hídricos renovables.....	8
Figura 2. Recursos hídricos renovables: flujos de agua azul y agua verde.....	9
Figura 3. Niveles de gestión del agua	11
Figura 4. Niveles de agregación de información	14
Figura 5. Suelo rural de expansión urbana de acuerdo al PUGS 2019 – 2030.....	19
Figura 6. Áreas de servicio de los principales sistemas de abastecimiento de agua potable de ETAPA EP.	20
Figura 7. Área de Estudio.....	21
Figura 8. Descripción general del City Blueprint Approach y sus marcos de evaluación.	22
Figura 9. Jerarquía para el tratamiento de desechos sólidos municipales.	34
Figura 10. Razones de recuperación de costos operativos de 135 países.	48
Figura 11. Área de cobertura de la PTAR de Ucubamba.	59
Figura 12. Cobertura de la PTAR de Ucubamba en el área de estudio.	60
Figura 13. Ubicación de la PTAR proyectada de Guangarcucho.	61
Figura 14. Ubicación de la unidad hidrogeológica Cañar – Cuenca – Girón.....	63
Figura 15. Catastro de redes de abastecimiento de agua potable en el área de estudio.....	70
Figura 16. Catastro de redes de alcantarillado en el área de estudio.	79
Figura 17. Categorías de uso de suelo compatibles con el espacio azul y verde en el área de estudio.	85
Figura 18. Catastro de equipamiento e infraestructura verde en el área de estudio.	86
Figura 19. Áreas azules y áreas verdes en el área de estudio.....	87
Figura 20. Imágenes promocionales de las campañas #CuidaTuAgua y #CuencaCierraLaLlave.	98
Figura 21. Consumo de agua potable de la categoría residencial en el área de estudio – período 2014-2019.....	98
Figura 22. Resultados de los 25 indicadores del método CBF para el área de estudio.	102
Figura 23. Promedio de los indicadores para cada categoría del método CBF para el área de estudio.	102
Figura 24. Resultados del índice BCI para 61 municipios y regiones de más de 30 países diferentes.	104

Juan Diego Tapia Sisalima

Trabajo de graduación

Cristian Iván Coello Granda

Enero, 2021

Evaluación de la sostenibilidad de la gestión integrada de recursos hídricos en Cuenca – Ecuador

1. Introducción

1.1 Antecedentes

El informe ‘Nuestro Futuro Común’ presentado en el año de 1987 por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo a la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), planteó formalmente el concepto de sostenibilidad como “*el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*” (Naciones Unidas, 1987), fundamentándolo en tres pilares: economía, sociedad y medioambiente (Naciones Unidas, 1982, 1987). En su dimensión económica, el desarrollo sostenible propone el mantenimiento y la optimización del desarrollo económico para así maximizar el bienestar humano considerando las limitaciones del capital natural; en su dimensión social, busca la satisfacción equitativa y equilibrada de las necesidades intrageneracionales e intergeneracionales; y, en su dimensión ambiental, destaca que la Naturaleza no es una fuente inagotable de recursos y que el futuro del desarrollo depende de su conocimiento y manejo adecuado (Díaz & Escárcega, 2009).

La teoría de la sostenibilidad, a pesar de sus críticas, ha tenido gran aceptación entre organismos internacionales, gobiernos, industria y sociedad civil (Bermejo, 2014). Su penetración ha sido tal que, en el año 2015, la Asamblea General de la ONU aprobó la resolución A/RES/70/1 denominada ‘Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible’, presentada como “*un plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad*” (Naciones Unidas, 2015). Desde su creación, la Agenda 2030 ha involucrado a toda la comunidad mundial: gobiernos, empresas, ONG, científicos y científicas, líderes y lideresas de la comunidad civil y estudiantes (Sachs, 2015), convirtiéndose en el punto de referencia para el desarrollo global futuro.

La Agenda 2030 se cimienta en diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de carácter integrado e indivisible, de aplicación universal, que materializan, sistemáticamente, las aspiraciones comunes en la búsqueda de un futuro mejor, más justo, equitativo, pacífico y sostenible (Ait-Kadi, 2016; Gómez Gil, 2018; Naciones Unidas, 2015). En relación a ello, y, ya que el suministro de agua segura, la eliminación de caudales residuales y el acceso a servicios de saneamiento son elementos básicos en la creación de un ambiente propicio para la mejora de la calidad de vida de las personas, constituyéndose además de fundamentos

esenciales, en impulsores poderosos del desarrollo humano, que contribuyen de manera equitativa y equilibrada en las necesidades de una sociedad (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2006; Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos & ONU-Agua, 2015), además de ser un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los demás derechos humanos (Naciones Unidas, 2003, 2010), se destaca particularmente al Objetivo 6: Agua Limpia y Saneamiento.

El ODS 6 persigue “*Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos*” (Naciones Unidas, 2015), y, en conjunto con sus metas, comprometió a todos los Estados con la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), la cual, de acuerdo a la Asociación Global del Agua (GWP, por sus siglas en inglés), es “*un proceso que promueve el desarrollo y la gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados, a fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales*” (Global Water Partnership, 2000). La inclusión del ODS 6 en la Agenda 2030 reconoció a la GIRH como esencial en el progreso y alcance de todos los ODS (Ait-Kadi, 2016; Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019), pues, en relación a los servicios y beneficios que provee el agua, las tres dimensiones de la sostenibilidad están limitadas por su gestión, finitud y vulnerabilidad inherentes (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos & ONU-Agua, 2015).

El agua se erige como el núcleo del desarrollo sostenible, pues además de ser fundamental para la salud y el bienestar humano, tiene la característica de ser multidimensional como resultado de su rol esencial en el desarrollo de actividades económicas y sociales, en la producción de energía y alimentos, en el mantenimiento de ecosistemas, entre otros aspectos (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019). Por su parte, la GIRH equilibra las tres dimensiones sobre las que se cimienta el desarrollo sostenible, proporcionando un marco conceptual que busca una administración holística del agua, así como su manejo intersectorial, además de una extensa participación en los procesos de toma de decisiones (Giordano & Tushaar, 2014), abarcando tanto los aspectos ‘duros’ (p. ej., la infraestructura) como los aspectos ‘blandos’ (p. ej., la gobernanza) de su gestión (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019). Aunque la GIRH es un concepto complicado de explicar y fácil de criticar, los crecientes alcances y escalas de los problemas mundiales en relación al sector hídrico requieren en respuesta este enfoque complejo, el cual promueve el uso de los principios de la gestión para la resolución de conflictos múltiples e interconectados (Grigg, 2019).

En el contexto descrito, el indisoluble vínculo existente entre la sostenibilidad y la GIRH es imposible de pasar por alto. Es claro además que estos procesos son complementarios, siendo imperioso destacar el rol central e integral de la GIRH en la planificación y el desarrollo social y económico de una comunidad, así como en la movilización de sinergias entre los diferentes aspectos de la sostenibilidad.

1.2 Justificación

El agua es requerida, además de los usos personales y domésticos, para diversas finalidades tales como: la producción de alimentos, la higiene ambiental, el aseguramiento de medios de subsistencia, las prácticas culturales, etc. (Naciones Unidas, 2003). En este sentido, procesos que actualmente se experimentan tanto a nivel global como local, entre ellos, la globalización del comercio, la implementación de nuevas políticas de seguridad alimentaria y energética, los cambios en los patrones de alimentación, producción y consumo, el crecimiento demográfico, la rápida urbanización, el cambio climático, la degradación ambiental, las crisis humanitarias, etc., incrementan la demanda mundial de agua (De Albuquerque, 2013; Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos & ONU-Agua, 2015). Aquello afecta su disponibilidad, calidad y accesibilidad, que son las tres características fundamentales que garantizan un adecuado ejercicio del derecho humano al agua (detalle en la sección 6.1).

Este panorama actual implica demandas por el agua en competencia, un creciente estrés hídrico, y un sinnúmero de desafíos intersectoriales complejos que en su mayoría residen en las ciudades y sus zonas de influencia (Van Leeuwen, Hofman, Driessen, & Frijns, 2019). En conjunto esto supone amenazas a la estabilidad ambiental, económica y social de ellas, es decir, a su sostenibilidad (Barajas, 2016; Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019). La combinación de dichos desafíos con los efectos adversos producto del cambio climático crean un escenario de alta vulnerabilidad y, muchas veces, de consecuencias imprevistas (Kim et al., 2018; Molina, Sarukhán, & Carabias, 2017). Se evidencia así una creciente presión en relación al sector hídrico y a la GIRH, pues, la seguridad hídrica, definida como *“la capacidad de una población para salvaguardar su acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para mantener sus medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socio-económico, para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política”* (ONU-Agua, 2013), y que es esencial para el desarrollo humano (Adeel, 2017), se ve seriamente amenazada. No obstante, el hecho de que en la actualidad aún existan poblaciones que se vean privadas de agua potable, evidencia también una crisis de gobernanza, pues esta situación guardaría mayor relación con factores sociales, políticos y económicos que con factores naturales (Ingeniería Sin Fronteras & UNESCO ETXEA, 2010; Pinos & Malo, 2018; Schreurs, Koop, & Van Leeuwen, 2017).

Por su parte, si bien las ciudades se erigen como motores de innovación y creación de riqueza como resultado de la alta concentración de personas en áreas relativamente pequeñas, representan también centros de intenso consumo de recursos y de altas tasas de contaminación (Kim et al., 2018). Así, a menos que la GIRH mejore significativamente dentro de la próxima década, las ciudades y sus zonas de influencia enfrentarán, muy probablemente, inseguridad hídrica grave y prolongada (Van Leeuwen et al., 2019), destacando que los riesgos se amplifican en aquellas ciudades que carecen de infraestructura

y/o arreglos institucionales con la capacidad de adaptación suficiente para enfrentarlos (UN-Habitat, 2016). Por lo tanto, una ciudad sostenible demanda, de manera urgente, el desarrollo de enfoques para una transición dirigida hacia la provisión de servicios de agua potable sostenibles y resilientes, que permitan abordar de manera efectiva y eficiente los desafíos que enfrenta el sector hídrico, como requisito previo para la salud, el desarrollo económico y el bienestar social de sus habitantes (Kim et al., 2018; Van Leeuwen et al., 2019). Es necesario indicar además que las condiciones globales en constante evolución harán que la GIRH se transforme más durante los próximos 20 años, que en relación a los últimos 100 años (Van Leeuwen et al., 2019). Adicionalmente, tanto la Agenda 2030 como sus ODS son un llamado de atención para que la GIRH entregue resultados concretos que permitan mejorar la seguridad hídrica en diferentes sectores y escalas (Wang, Davies, & Liu, 2019).

De esta manera, la evaluación del estado actual de la GIRH en cualquier comunidad es imperativa, previo a la configuración y puesta en marcha de enfoques innovadores que persigan su sostenibilidad y resiliencia. En este aspecto, los indicadores se erigen como una poderosa herramienta en la evaluación de la GIRH, pues a través de ellos se pueden identificar las debilidades, fortalezas y problemáticas prioritarias de este proceso, al permitir la valoración del impacto humano sobre el ambiente biofísico y socio-económico, así como la valoración de los resultados de políticas y programas previamente implementados (INBO & GWP, 2012; Torres, Díaz, & Martínez, 2011). Así también, los indicadores se establecen como una sólida alternativa para la integración conceptual – operacional de la sostenibilidad, al tener en cuenta la dificultad que supone utilizar a este paradigma del desarrollo como referencia operativa en la toma de decisiones (Dong & Hauschild, 2017; Torres et al., 2011). La importancia de los indicadores radica en que proveen de un conocimiento sintetizado sobre un tema particular, reduciendo su complejidad, proporcionando importantes vínculos entre la ciencia y la política, y, ayudando a los responsables de la toma de decisiones a proporcionar guía para la gobernanza en una era de sostenibilidad (Butt, 2018). Así, por ejemplo, si bien los ODS propuestos en la Agenda 2030 tienen una compleja arquitectura estructurada por 17 objetivos genéricos, éstos se materializan en 169 metas medibles a través de, precisamente, 232 indicadores (Naciones Unidas, 2017).

La investigación en relación a la evaluación de la GIRH a través de indicadores ha encontrado uno de sus principales objetivos en las llamadas ‘megaciudades’, término derivado del inglés, que, de acuerdo a su definición, hace referencia a urbes muy grandes con poblaciones superiores a diez millones de personas (Oxford University Press, 2020). Así, por ejemplo, Chang et al. (2020), Kim et al. (2018), Van Leeuwen, Dan, & Dieperink (2016) y Hao, Du, & Gao, (2012), han evaluado la gestión del agua respectivamente: en 32 ciudades principales de China, en la capital de Corea del Sur, en la ciudad más poblada de Vietnam y en una megaciudad china asociada a abundantes y complicados sistemas de agua. Este enfoque investigativo respondería al hecho de que los conflictos inherentes a dichas megaciudades en relación al sector hídrico se ven exacerbados por su acelerado crecimiento urbanístico, su competencia por el uso del agua, su contaminación y su vulnerabilidad a los imprevistos

efectos del cambio climático (Chang et al., 2020; Van Leuwen et al., 2016). No obstante, ya que la gestión del agua es de fundamental importancia para cimentar una sociedad sostenible y ya que una proporción significativa de las prácticas de la GIRH es implementada de manera local, la evaluación de su estado también ha sido estudiada en ciudades más pequeñas, especialmente de Europa. En este sentido, Koop & Van Leuwen (2015) han analizado la GIRH en 45 municipios y regiones de 27 países, mientras que Van Leuwen & Sjerps (2015) han estudiado la sostenibilidad de dicho proceso en Ámsterdam, ciudad que alberga a aproximadamente 800,000 personas. Asimismo, los desafíos actuales en relación al agua, entre ellos, la rápida urbanización, el cambio climático y el envejecimiento de la infraestructura hídrica, motivaron a Feingold, Koop, & Van Leeuwen (2018) a evaluar la GIRH en seis ciudades de Estados Unidos.

Es preciso destacar entonces que, a pesar de la comprobada utilidad de los indicadores en la evaluación de la gestión del agua, este es un tema de investigación poco explotado y explorado en ciudades intermedias, menos aún a nivel regional y local. Es importante recalcar esta situación al tener en cuenta que uno de los factores más importantes para una gestión y planificación exitosas de los recursos hídricos es el estado, calidad y relevancia de la investigación local en torno al agua (Biswas, 2004). Sumado a ello, para impulsar el potencial operacional de la GIRH, es clave también facilitar el aprendizaje social respaldado por datos (Smith & Clausen, 2018), pues la evaluación cuantitativa de las condiciones de los sistemas de recursos hídricos podría proveer a las partes interesadas información que mejore su comprensión respecto a ellos (Wang et al., 2019).

En el contexto descrito, en Ecuador, país caracterizado por sus abundantes recursos hídricos, al tener numerosos ríos que nacen de los glaciares andinos, así como altas precipitaciones durante la mayor parte del año (Gianoli & Bhatnagar, 2019), el área metropolitana de Cuenca es la tercera ciudad más grande del país, en un cantón –del mismo nombre– con un área total de 3,665 km² y que en el año 2010 albergaba una población total de 505,585 habitantes (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca, 2015). A pesar de que en el año 2010, el área urbana cantonal era de apenas 66.71 km², cerca de 332,000 habitantes (el 66% de la población total) residían en la ciudad de Cuenca (Gianoli & Bhatnagar, 2019; Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca, 2015). Oficialmente nombrada Santa Ana de los cuatro Ríos de Cuenca, la ciudad es conocida por la relativa abundancia de sus potenciales suministros de agua provenientes de los cuatro ríos que la atraviesan: río Tomebamba, río Machángara, río Yanuncay y río Tarqui. Además de constituirse como el centro de la transición energética de Ecuador de los combustibles fósiles a la hidroelectricidad (Gianoli & Bhatnagar, 2019), su estratégica localización en el centro sur del país entre las regiones costanera y oriental, la establece como un importante nodo de actividad comercial y de prestación de servicios (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca, 2015).

En el cantón Cuenca, la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento – ETAPA EP, es la responsable de la prestación de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental, además de sus servicios complementarios, conexos y afines, así como de la gestión de sectores estratégicos y del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y actividades económicas conexas a su actividad (Ilustre Concejo Cantonal de Cuenca, 2010b). La empresa ETAPA EP se ha constituido como un modelo a seguir, tanto a nivel nacional como regional, cuyos servicios, de acuerdo a su visión empresarial, tienen un enfoque integrado de los recursos hídricos, tomando en consideración la gestión participativa de todos los actores y actoras, con orientación hacia la sostenibilidad de sus sistemas (ETAPA EP, 2019). En este marco, la evaluación de la sostenibilidad de la GIRH en Cuenca, a través del cálculo y análisis de indicadores de gestión, permitiría al personal gerencial, técnico y operativo, a las organizaciones relacionadas y demás partes interesadas, conocer qué se ha hecho, cómo se ha hecho y en qué se puede mejorar. Los indicadores que se obtengan, al tiempo de proveer asesoramiento sobre la efectividad de la implementación de la GIRH por parte de una Empresa Pública, podrían servir además como una guía práctica para la política del agua, así como permitir una mejor planificación y control del proceso, ofreciendo información valiosa que respalde la toma de decisiones para su sostenibilidad.

1.3 Marco Teórico

1.3.1 El agua y la sostenibilidad

El agua es el núcleo de la sostenibilidad. No obstante, estrategias de desarrollo insostenibles, así como fallas en la gobernanza, afectan su accesibilidad, calidad y disponibilidad, comprometiendo gravemente su capacidad de generar beneficios económicos y sociales. A menos que la finita oferta de recursos hídricos se equilibre con la creciente demanda por ellos, el mundo enfrentará una crisis cada vez mayor en este sector (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos & ONU-Agua, 2015). En el año 2015, dicha crisis significó que aproximadamente 844 millones de personas a nivel mundial no dispongan de un servicio básico de agua potable, y, asimismo, que casi 2400 millones de personas carezcan de un servicio básico de saneamiento (OMS/UNICEF, 2017; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2016).

Al constituirse como un sistema natural complejo, el agua está íntimamente vinculada y en constante interacción con otros sistemas –ambientales, económicos y sociales– también complejos (Torres et al., 2011). De esta manera, en relación a la dimensión ambiental de la sostenibilidad, es destacable la capacidad de un ecosistema de agua dulce, de proveer los cuatro tipos de servicios ecosistémicos conocidos: i) abastecimiento de agua para consumo humano y producción; ii) regulación hidrológica y climática; iii) valoración paisajística, cultural, de inspiración y recreación; y, iv) servicios de apoyo en relación a la formación del suelo y el ciclo de nutrientes (Tapia-Sisalima, 2018). Empero, dichos servicios, fundamentales para la vida y la sostenibilidad, son pocas veces reconocidos y valorados por los modelos económicos y de gestión de recursos, siendo afectados por usos no sostenibles en los ecosistemas, los cuales debilitan la capacidad de éstos para proveerlos (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos & ONU-Agua, 2015).

En relación a la dimensión económica de la sostenibilidad, el agua es esencial en la producción de casi todos los bienes y servicios, entre ellos los alimentos, las manufacturas y la energía. En este marco, una inversión en actividades económicas, para que se considere financieramente sostenible y que pueda guiar hacia cambios estructurales que impulsen el avance en otras áreas productivas, demanda de la confiabilidad y predictibilidad de un suministro de agua en cantidad y en calidad adecuadas, reforzando así la dinámica del desarrollo económico (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos & ONU-Agua, 2015).

Finalmente, en relación a la dimensión social de la sostenibilidad, el adecuado suministro de agua para consumo y uso doméstico es imprescindible en aspectos tales como la salud y la dignidad humana. Así también, la disponibilidad de agua para usos productivos es vital en la creación de oportunidades de subsistencia, en la generación de ingresos y en la productividad económica de la población (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos & ONU-Agua, 2015).

En el marco descrito, una gestión integrada del agua, podría contribuir en la reducción de la pobreza, en la mejora de la salud, en la reducción de costes sanitarios, en el ahorro de tiempo, en la igualdad de género, en el aumento de la productividad, etc., es decir, en la satisfacción equitativa y equilibrada de las necesidades de una sociedad (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos & ONU-Agua, 2015).

1.3.2 Los recursos hídricos

El agua es uno de los recursos más importantes en el sistema Tierra, siendo esencial para la vida y sin sustitutos posibles (D’Odorico & Rodriguez-Iturbe, 2020). Como resultado de procesos naturales está en constante movimiento, pasando de un estado a otro y de una locación a otra, razón por la cual, este recurso natural no está igualmente distribuido alrededor del planeta (Radwan, Elattar, & Khmes, 2010). Y, aunque la mayoría de ecosistemas terrestres y actividades humanas dependen de agua dulce, ésta representa únicamente el 3% del total del recurso en la Tierra, con una mayor proporción existente como capas de hielo (≈69%) o como agua subterránea (≈30%), mientras que únicamente alrededor del 1% se almacena en cuerpos de agua superficial y vegetación (D’Odorico & Rodriguez-Iturbe, 2020).

En este contexto, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) y a la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés), se denomina como ‘recursos hídricos’ al “*agua disponible o potencialmente disponible para su uso, en cantidad suficiente y calidad adecuada, en un lugar y en un periodo de tiempo dados, apropiada para satisfacer una demanda identificable*” (UNESCO & WMO, 2012). El concepto de recursos hídricos es multidimensional, al abarcar, además de su evaluación física y cuantitativa, dimensiones cualitativas, ambientales y socioeconómicas en relación al agua (FAO, 2003), destacando así su crítico papel en las sociedades humanas (D’Odorico & Rodriguez-Iturbe, 2020).

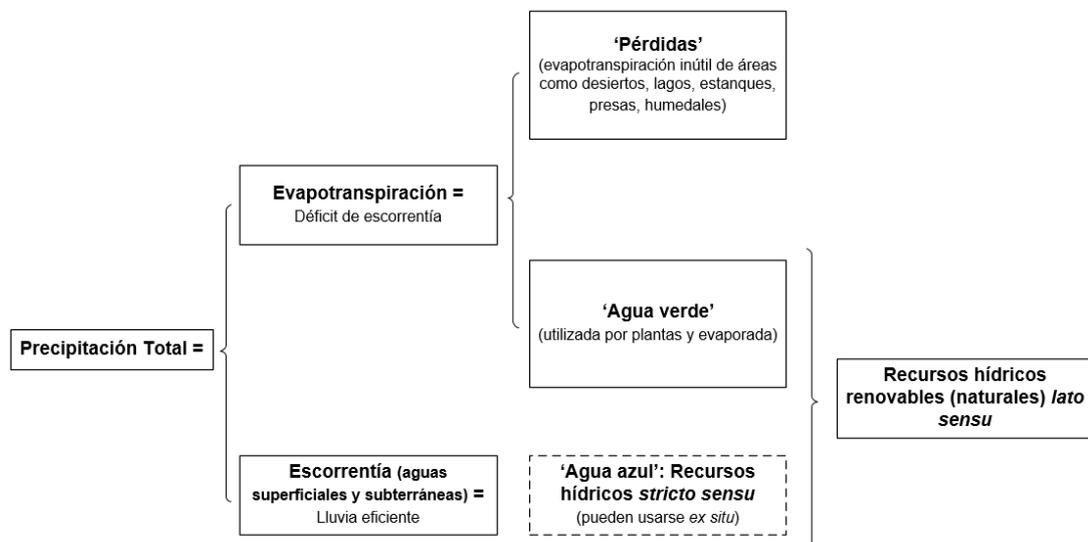


Figura 1. Conceptualización de los recursos hídricos renovables

Fuente: FAO (2003)

A su vez, los recursos hídricos se clasifican en renovables y no renovables. Los recursos hídricos renovables son aquellos recursos naturales, que, como su nombre lo indica, son renovados por el ciclo global del agua (FAO, 2020). Corresponden al porcentaje de la precipitación total que cae sobre la Tierra que no se pierde durante el proceso de evapotranspiración, alimentando los caudales de ríos, lagos y acuíferos, constituyéndose como la principal fuente de agua disponible para las personas (Figura 1). Por otra parte, los recursos hídricos no renovables están conformados por aquellos cuerpos de agua subterránea con una tasa de recarga insignificante en la escala de tiempo humana (p. ej. acuíferos profundos) (FAO, 2003).

En relación a los recursos hídricos renovables, es preciso aclarar los términos 'agua azul' y 'agua verde', de acuerdo a la Figura 2. Tanto el agua superficial como el agua subterránea se denominan comúnmente 'agua azul'. Por su parte, se conoce como 'agua verde' al agua que es retenida por las fuerzas capilares en suelos superficiales poco saturados, la cual es utilizada por plantas y microorganismos del suelo que pueden ejercer la succión requerida para su extracción (D'Odorico & Rodríguez-Iturbe, 2020; FAO, 2003). Luego de la precipitación, el agua deja las masas de tierra, ya sea, en la fase líquida como flujos de agua azul, o, como flujos de vapor de agua asociados a la evapotranspiración (flujos de agua verde). A nivel mundial, los flujos de agua azul representan aproximadamente el 40% y los flujos de agua verde el 60% de los flujos de agua de las masas de tierra. Empero, estas proporciones varían de acuerdo a la región geográfica y han sido alteradas por la acción humana (Abbott et al., 2019; D'Odorico & Rodríguez-Iturbe, 2020).

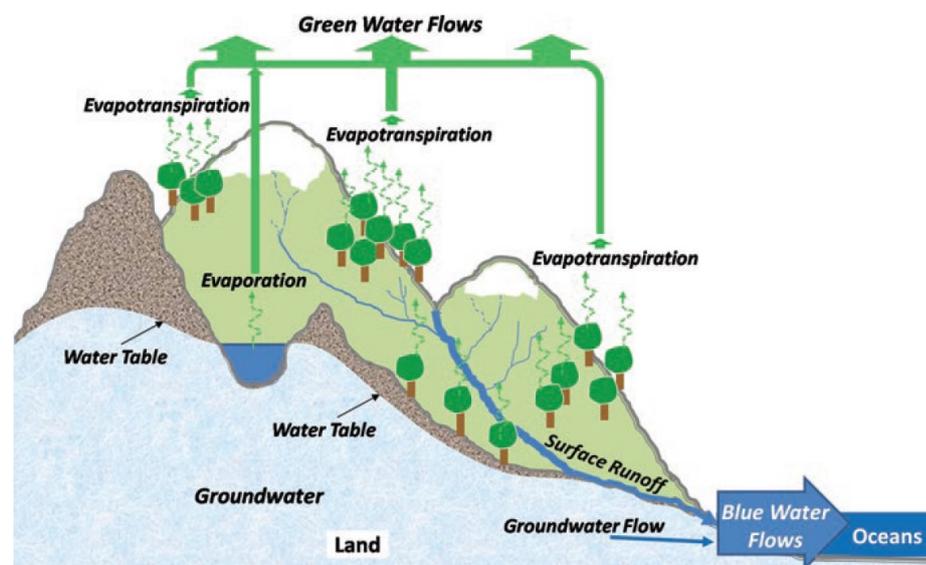


Figura 2. Recursos hídricos renovables: flujos de agua azul y agua verde
Fuente: D'Odorico & Rodríguez-Iturbe (2020)

Es importante mencionar que desde los inicios de la civilización los asentamientos humanos se han establecido cerca de fuentes de recursos hídricos renovables para su aprovechamiento (Bartra, 2008). A través de una combinación de ingeniería 'gris' (implementación de infraestructura) y 'verde' (desarrollo de prácticas agrícolas), aplicando la

tecnología disponible, parte de los recursos hídricos renovables han sido extraídos por la especie humana para diferentes usos, mejorando continuamente su acceso a suministros de agua potable y servicios de saneamiento a lo largo de la historia (UNESCO & ONU-Agua, 2020). No obstante, no toda el agua dulce natural, superficial o subterránea, es aprovechable, pues debido a una serie de factores entre los que se incluyen: condiciones físicas, técnicas y legales para la extracción, criterios socioeconómicos para su aprovechamiento, requerimientos de preservación medioambiental, variabilidad natural, fenómenos naturales, entre otros, una fuente de agua podría clasificarse como explotable o no (Abbott et al., 2019; FAO, 2003). En este aspecto, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), los tipos de extracción de recursos hídricos para usos antropogénicos pueden ser: i) extracción industrial; ii) extracción agropecuaria (en la que se incluye la irrigación, el agua para la limpiar y abrevar el ganado y la acuicultura); y, iii) extracción municipal (que incluye todos los usos domésticos). A pesar de que la mayor proporción de los volúmenes extraídos regresan al ambiente luego de su uso, la calidad de los efluentes que son devueltos a la Naturaleza es, por lo general, menor (FAO, 2020). En relación a ello, la contaminación de los recursos hídricos ha reducido la fracción de agua dulce disponible entre un 30% y 50% a nivel mundial, con porcentajes aún mayores en varias regiones (Abbott et al., 2019).

Finalmente, los recursos hídricos renovables pueden clasificarse también en ‘naturales’ y ‘reales’. Los recursos hídricos renovables naturales representan la cantidad total de recursos hídricos generados a través del ciclo hidrológico en una locación. Por otro lado, los recursos hídricos renovables reales consideran, además, la cantidad de caudal reservado aguas arriba y/o aguas abajo de una locación, a través de acuerdos o tratados formales o informales, variando así con el tiempo y los patrones de consumo (FAO, 2003).

1.3.3 La gestión integrada de recursos hídricos

La gestión y planificación racional del agua es una tarea compleja. Además de su disponibilidad, calidad y accesibilidad, las soluciones a los problemas relacionados con los recursos hídricos dependen de muchos otros factores, entre los que se incluyen: los procesos de gestión; la competencia y las capacidades de las instituciones administradoras; las condiciones sociopolíticas que determinan sus prácticas y procesos de gestión, planificación y desarrollo; la idoneidad y el estado de implementación de los marcos legales vigentes; la disponibilidad de fondos de inversión; las condiciones sociales y ambientales del entorno; los niveles de tecnología disponibles y utilizables; los modos de gobernanza; y, el estado, calidad y relevancia de la investigación en relación a la problemática local, nacional y regional del agua (Biswas, 2004). En tiempos de un acelerado desarrollo global y cambio climático, estos factores representan desafíos en la tarea de proveer acceso a sistemas de abastecimiento de agua sostenibles, por lo que, tanto la efectividad de la gestión del agua como de la gobernanza que la respalda, es fundamental (Grigg, 2016). Adicionalmente, ya que los problemas en relación al agua son cada vez más complejos como resultado de su condición de interconexión con otros sectores estratégicos, éstos no pueden ser tratados por una única

institución o grupo de profesionales, sin que se considere de manera explícita y simultánea a otros sectores y asuntos relacionados, y, viceversa (Biswas, 2004). En el contexto de la sostenibilidad (Agenda 2030 – ODS), la importancia de la GIRH resalta en la meta 6.5, la cual demanda “*implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda*” (Naciones Unidas, 2015).

De esta manera, los exigentes requisitos para la gestión del agua plantean la necesidad de que ésta deba ser tanto integral, como integrada con otros sectores. En este aspecto, al considerarla como una disciplina principalmente técnica, que planifica y construye infraestructura, probablemente no responderá de forma satisfactoria a las necesidades de las personas y el planeta. Si por otro lado la gestión se centra en herramientas no estructurales y regulatorias podría fallar en proporcionar la infraestructura requerida para servir a las personas y proteger a la Naturaleza. Finalmente, si no responde a las necesidades de los sectores interconectados con ella (p. ej. el sector alimentario, el sector urbanístico, el sector de la salud, etc.) también podría resultar inadecuada (Grigg, 2016). De acuerdo a Grigg (2016), son tres los niveles de la gestión del agua, tal como se muestra en la Figura 3 y se describe a continuación:

- i. Nivel técnico o ingeniería de recursos hídricos, que abarca aquello en relación con la infraestructura civil para la gestión hídrica, así como una amplia gama de actividades de operación y mantenimiento inherentes.
- ii. Nivel gestión o gestión de recursos hídricos, que se relaciona con los procesos de toma de decisiones sobre la asignación de recursos y el uso de infraestructura hídrica.
- iii. Nivel integrador o GIRH, que involucra un amplio conjunto de actividades para la vinculación de decisiones sobre el sector hídrico con acciones en otros sectores interconectados.

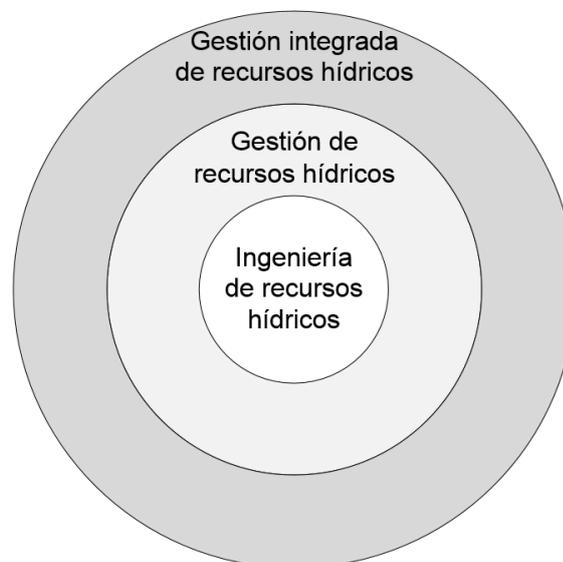


Figura 3. Niveles de gestión del agua
Fuente: Grigg (2016)

Por sus características el nivel técnico tiene un papel central, mientras que los aportes del nivel gestión son primordiales en las decisiones que implican financiamiento y asignación de recursos, y, por último, los vínculos con otros sectores definen el alcance de la GIRH (Grigg, 2016). De esta manera, una GIRH efectiva supone sistemas de infraestructura y programas de gestión sólidos, además de un trabajo coordinado con otros sectores relacionados para satisfacer necesidades comunes.

Aunque las ideas básicas sobre la GIRH tienen aproximadamente 100 años, una evaluación exhaustiva y objetiva de publicaciones realizadas por personas e instituciones que la promueven, destaca la falta de claridad en relación al significado de su concepto en términos operativos, así como una amplia variedad de opiniones respecto qué implica éste realmente (Biswas, 2004; Giordano & Tushaar, 2014; Grigg, 2019). La definición más citada de la GIRH es aquella formulada por la GWP, que la define como “*un proceso que promueve el desarrollo y la gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados, a fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales*” (Global Water Partnership, 2000). Por su parte, con el objetivo de promover a la GIRH como una práctica estándar e impulsar su comprensión, la Asociación Americana de Recursos Hídricos (AWRA, por sus siglas en inglés), a partir de la propuesta de la GWP, amplió la definición hacia la: “*planificación, desarrollo, protección y gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados, de una manera que fomente la actividad económica sostenible, mejore o mantenga la calidad del medio ambiente, garantice la salud pública y la seguridad, y garantice la sostenibilidad de las comunidades y los ecosistemas*” (AWRA, 2011).

Con frecuencia, la GIRH se interpreta como un conjunto de enfoques específicos, entre los que se incluyen: el establecimiento de políticas, leyes y planes como ‘reglas de juego’ para la gestión, la utilización de la cuenca como unidad básica de gestión a través de un marco institucional robusto, el uso efectivo de instrumentos técnicos y de gestión (p. ej. evaluaciones, datos e instrumentos para la asignación del agua y el control de la contaminación), la inversión en infraestructura con financiamiento adecuado, la inclusión y participación en la toma de decisiones, etc. (Giordano & Tushaar, 2014; Smith & Clausen, 2018). No obstante, la GIRH es una herramienta desarrollada con el objetivo último de abordar la resolución pragmática de problemas complejos inherentes al sector hídrico en interacción con diferentes sistemas sociales y naturales y sus partes interesadas, estableciendo un marco coordinado de planificación y gestión con acción práctica (Grigg, 2019; Smith & Clausen, 2018), más no el ser excesivamente tecnocrática y demasiado centrada en normativa (Smith & Clausen, 2018).

Para alcanzar la sostenibilidad de los recursos hídricos, la operatividad de la GIRH debe conciliar sus principios fundamentales con la acción práctica, a través de soluciones innovadoras, técnicas, políticas y sociales que provengan desde los diferentes sectores involucrados. Para ello la GIRH debe considerar estrategias para la gestión del cambio a todos los niveles, facilitando el aprendizaje social respaldado por datos, comunicación y

empoderamiento, así como el aprendizaje práctico. Además, debe considerar mecanismos operativos para acercar el planteamiento de estrategias con la resolución de problemas, a través de plataformas que reúnan a las partes interesadas para la toma de decisiones de manera colaborativa (Smith & Clausen, 2018; Wang et al., 2019).

Por último es necesario destacar a la gobernanza de los recursos hídricos, la cual es un proceso que respalda a la GIRH en el nivel de gestión, abarcando los diferentes niveles de gobierno y partes interesadas, ayudando a mantener la sociedad y el medio ambiente al hacer y hacer cumplir las reglas, y, brindando apoyo en la administración del recurso (Grigg, 2016). La gobernanza hace referencia a los sistemas administrativos, económicos, políticos y sociales que regulan el desarrollo, la gestión y el suministro de servicios del agua en diferentes niveles, englobando además la manera en la cual los actores y actoras interactúan, y, la normativa que regula dicha interacción (Llambí et al., 2012), constituyéndose como un insumo crítico en la construcción de una sociedad sostenible.

1.3.4 Evaluación de la GIRH a través de indicadores

La GIRH es un concepto que respalda enfoques de resolución de problemas complejos y comunes a diferentes sectores involucrados con el agua a través de principios e instrumentos de gestión. Empero, su funcionamiento puede parecer muchas veces vago y abstracto (Grigg, 2019). La falta de medidas estándar para el seguimiento del éxito de sus planes y proyectos se constituye como uno de sus principales problemas, al reconocer que la evaluación del desempeño de todo proceso es parte fundamental de su planificación y control (AWRA, 2011; Buccheri & Comellas, 2011). En este sentido, los indicadores son herramientas que permiten la cuantificación y simplificación de un fenómeno complejo, representando de manera concreta sus cualidades en un momento específico (Buccheri & Comellas, 2011). Permiten establecer estándares, medir resultados y hacer comparaciones con el objetivo de evaluar el desempeño de la gestión en un área y momento determinados, apoyando de esta manera en el manejo y en la toma de decisiones (Fasciolo, Puebla, Mendoza, & Cifuentes, 2011), por lo que en el ámbito de la investigación, su utilidad debe ser destacada.

En general, un indicador se define como una función de una o más variables (cualitativas o cuantitativas) que mide una característica o atributo (cambiante en el tiempo o espacio) de un objeto o unidad de análisis susceptible de medición. Un indicador puede ser una única medida estadística o una relación algebraica entre dos o más medidas. Puede además construirse como una función de varias variables y medir así características multidimensionales, resumiendo aspectos interrelacionados en un único valor (Fasciolo et al., 2011).

Los datos resultantes de las mediciones a un objeto o unidad de análisis en estudio pueden estar crudos o procesados. El procesamiento de los datos crudos por parte de investigadoras e investigadores deriva en series (temporales o espaciales) y en medidas estadísticas que las representan. A partir de ellas pueden calcularse indicadores, simples o compuestos, cuyas especificaciones están respaldadas en el conocimiento científico. Pasar de datos crudos a indicadores requiere de un nivel creciente de agregación de la información, tal como se

muestra en la Figura 4, en la cual se observa además que cada nivel de agregación corresponde a diferentes tipos de usuarias y usuarios. En este aspecto, los indicadores están dirigidos especialmente a gestoras y gestores, líderes y lideresas políticos y comunitarios, y, público en general (Buccheri & Comellas, 2011; Fasciolo et al., 2011).

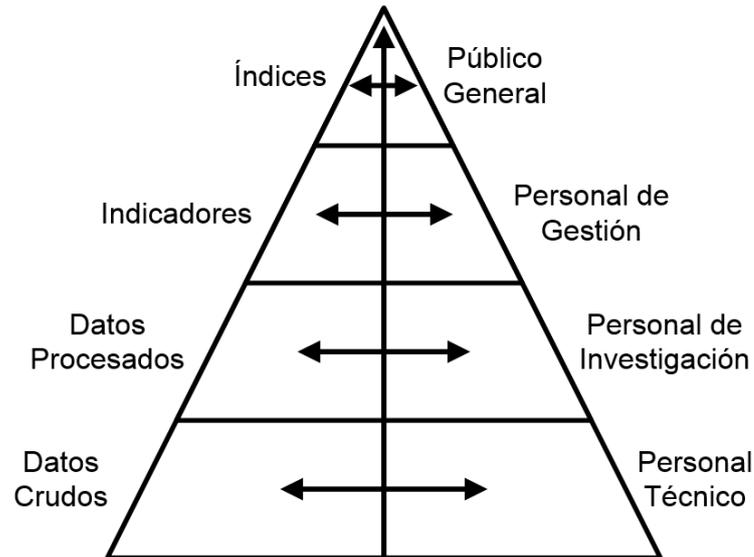


Figura 4. Niveles de agregación de información
Fuente: Fasciolo et al. (2011)

De acuerdo a Fasciolo et al. (2011) y a Van Leuuwen, Frijns, Van Wezel, & Van de Ven (2012), un buen indicador de gestión debe ser: i) accesible; ii) sencillo, para que pueda ser fácilmente interpretado y utilizado; iii) oportuno y relevante, es decir, tener vinculación con objetivos estratégicos y ser útil para la toma de decisiones; iv) confiable y consistente, para no llevar a conclusiones erradas; v) equilibrado, entre la agregación que permite comparar y la desagregación que permite comprender; vi) creíble, transparente y preciso; vii) eficiente, para no incurrir en excesivos costos para su obtención; y, viii) desarrollado con el usuario final en mente, así como en la realidad concreta que pretende medir.

En el contexto descrito, los indicadores podrían apoyar en gran medida a la GIRH al permitir la evaluación de su desempeño, proporcionando una herramienta analítica que respalda la toma de decisiones, constituyéndose a la vez como una herramienta comunicacional con gran potencial (INBO & GWP, 2012). En relación a ello, los indicadores de desempeño del sector hídrico deben presentar los complejos fenómenos asociados de manera completa y comprensible, estableciendo criterios comparativos que permitan realizar análisis espaciales y temporales, de manera que sean útiles e ilustrativos, tanto para profesionales y responsables políticos, así como para el público en general. En este aspecto, de acuerdo a la Red Internacional de Organizaciones de Cuenca (INBO, por sus siglas en inglés), los indicadores para la gestión del agua pueden ser:

- i. Indicadores de gobernanza, los cuales permiten la evaluación del desempeño en relación a los principales enfoques de la GIRH (aspectos políticos, institucionales y organizativos, marco legal, mecanismos de financiación, aspectos participativos,

planificación, sistemas de información y comunicación, desarrollo de capacidades, etc.).

- ii. Indicadores técnicos, los cuales están basados en mediciones físicas de los recursos hídricos y de sus ambientes asociados y permiten la evaluación de los resultados de programas y proyectos, caracterizando la evolución de la situación *in situ*. Permiten evaluar las habilidades obtenidas respecto al conocimiento, desarrollo y gestión del agua. Se los denomina, generalmente, indicadores de sostenibilidad.

Con apoyo en este marco conceptual, se enfatiza la importancia de la evaluación de la GIRH a través de indicadores, pues la complejidad inherente al sector hídrico, sumada a su condición de constante cambio y evolución, exigen la permanente medición y revisión de su gestión con el objetivo de una mejora continua (Fasciolo et al., 2011). Para ello, es importante seguir un enfoque sistemático que incluya el establecimiento de un sistema de indicadores adecuados, el cual siempre dependerá del contexto y su interpretación deberá ser acorde a las estructuras institucionales específicas de la unidad de análisis (p. ej. acuerdos, financiamiento, metas), de sus condiciones hidrológicas, del progreso en el desarrollo económico y de los recursos humanos de la organización (Hao et al., 2012; INBO & GWP, 2012).

Los indicadores se constituyen como un paso en el proceso de recopilación de información, el cual facilita la planificación, el desarrollo y la gestión del agua (INBO & GWP, 2012). Al monitorear la gestión en un área y momento determinados, los indicadores permiten hacer frente a uno de los principales problemas de la GIRH, al permitir una mejor planificación y control del proceso, ofreciendo información valiosa que respalda la toma de decisiones para su sostenibilidad (Tapia-Sisalima, 2020).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Evaluar la sostenibilidad de la GIRH en Cuenca – Ecuador.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Describir la situación actual de la gestión del agua en el área de estudio.
- Calcular los indicadores que permiten la evaluación de la GIRH.
- Explicar las relaciones identificadas a través de los indicadores en el ámbito de la sostenibilidad de la GIRH.
- Discutir y analizar las fortalezas y debilidades de la GIRH en el área de estudio.

2. Materiales y Métodos

2.1 Delimitación del área de estudio

La frecuente interpretación de la GIRH como un conjunto de enfoques específicos ha conducido al criterio generalizado de que la unidad lógica básica para la gestión del agua es la cuenca hidrográfica (Smith & Clausen, 2018). No obstante, al ser la GIRH una herramienta concebida para el abordaje pragmático de problemas interconectados inherentes al sector hídrico, el hecho de imponer un marco general común, sin tener en cuenta las particularidades locales o nacionales, ha sido objeto principal de críticas (Avellán et al., 2017). En función de la compleja problemática a resolver, una integración efectiva para la gestión del agua podría entonces requerir considerar otras escalas o medios de organización espacial (p. ej. ciudades) diferentes a la cuenca, los cuales se adaptarían mejor a la gestión y a la gobernanza. En el ámbito de la sostenibilidad, la GIRH aplicada como un modelo único a escala de cuenca, muy probablemente, no tendrá éxito (Smith & Clausen, 2018). Así, una implementación efectiva de la GIRH, que persiga su sostenibilidad, demanda tener en consideración las condiciones locales, tanto naturales, como económicas y sociales (institucionales, jurídicas, políticas, etc.) a través de medios de organización espacial tales como las ciudades.

Por otro lado, a nivel mundial, América Latina y El Caribe se caracteriza por ser la región más urbanizada del mundo, con casi la mitad de su población viviendo actualmente en ciudades con más de 300,000 habitantes, y, con proyecciones que indican que para mediados de siglo la población urbana representaría cerca del 90% del total (BID, 2020). Durante las últimas décadas, las ciudades de esta región han experimentado un crecimiento desordenado, con un desarrollo territorial mal planificado, un financiamiento limitado de infraestructura y un diseño y funcionamiento inadecuado de sus instalaciones (BID, 2020). Esta situación supone una alta vulnerabilidad para la población respecto a la provisión adecuada de servicios de agua potable y saneamiento, y, en general, es una amenaza para la sostenibilidad de las ciudades de América Latina y El Caribe. Es preciso destacar además que, en esta región, los servicios de agua potable y saneamiento son, en su gran mayoría, prestados por entidades estatales a nivel nacional, regional o municipal (BID, 2020).

Por su parte, Ecuador, con un planteamiento constitucional innovador a nivel mundial, el cual ha apostado por un modelo de Estado sostenible, garantiza el derecho humano al agua para sus habitantes (ver sección 6.1), categorizándolo como fundamental e irrenunciable (Asamblea Nacional Constituyente, 2008). La Constitución de la República establece además al Estado como el responsable de la planificación y gestión de los recursos hídricos en todo el territorio ecuatoriano (artículos 318, 411 y 412), así como de la provisión de los servicios públicos de agua potable y saneamiento (artículo 314) (Asamblea Nacional Constituyente, 2008). De acuerdo a este marco legal, la prestación de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos y actividades de saneamiento ambiental, son competencias exclusivas de los gobiernos municipales (artículo

264), destacando que la gestión del agua está limitada, a ser exclusivamente pública o comunitaria (artículo 318) (Asamblea Nacional Constituyente, 2008).

En Ecuador, el área metropolitana de Cuenca se constituye como la tercera ciudad más grande del país, en un cantón –del mismo nombre– con un área total de 3,665 km², en el cual, a pesar de que en el año 2010 el área urbana era de apenas 66.71 km², cerca de 332,000 habitantes (el 66% de la población total) residían en la ciudad. Cuenca es reconocida, entre otras características, por sus abundantes recursos hídricos y sus altas tasas de cobertura de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental, los cuales corresponden a la gestión de la empresa pública municipal ETAPA EP. Esta empresa, fundada en el año de 1968, se ha constituido como un modelo a seguir, tanto a nivel nacional como regional, con servicios que, de acuerdo a su visión empresarial, tienen un enfoque integrado de los recursos hídricos y una orientación hacia la sostenibilidad de sus sistemas.

En correspondencia a la expedición y actualización de la Ordenanza Municipal relativa, toda el área cantonal de Cuenca se constituye como el área de servicio de ETAPA EP, por lo que la dotación de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental es su responsabilidad (Ilustre Concejo Cantonal de Cuenca, 2010b). Si bien como resultado de procesos de planificación técnica, ETAPA EP provee sus servicios en la mayor proporción de las áreas urbanizadas del cantón, en determinadas áreas rurales la empresa coexiste con sistemas comunitarios de abastecimiento de agua de diferente magnitud (ETAPA EP, 2020d). En este punto se debe mencionar que, tanto la Constitución (artículo 318), como la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (sección sexta), reconocen a la gestión comunitaria del agua a través de las juntas administradoras de agua potable y saneamiento (Asamblea Nacional, 2014; Asamblea Nacional Constituyente, 2008). La ‘Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Regional – “Proyecto Nero”’, cuya área de servicio abarca a parte de las parroquias rurales de Baños, Turi, El Valle y Paccha, representa el ejemplo más evidente de esta situación en el cantón Cuenca.

En el contexto descrito, para la delimitación del área de estudio fue preciso considerar dos aspectos fundamentales. El primero de ellos, en relación a las proyecciones de crecimiento poblacional y de urbanización, así como a la planificación territorial en el cantón Cuenca. De acuerdo a la Dirección General de Planificación Territorial (DGPT) de su Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM), la población en el área urbana para el año 2030 será aproximadamente de 510,000 habitantes, lo cual implicaría un incremento de cerca de 83,000 nuevos hogares en relación a aquellos existentes en el año 2010 (GADM del Cantón Cuenca, 2020). En relación a ello, en la actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) y en la elaboración del Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) 2019-2030 del cantón Cuenca, el GADM, ha considerado el escenario de que dicho incremento poblacional se ubicaría en zonas peri-urbanas no consolidadas de la ciudad, por lo que, se han propuesto nuevos polígonos de intervención territorial urbanos, así como áreas de expansión urbanas

en suelo rural, conexas al límite de la ciudad de Cuenca, tal como se muestra en la Figura 5 (GADM del Cantón Cuenca, 2020).

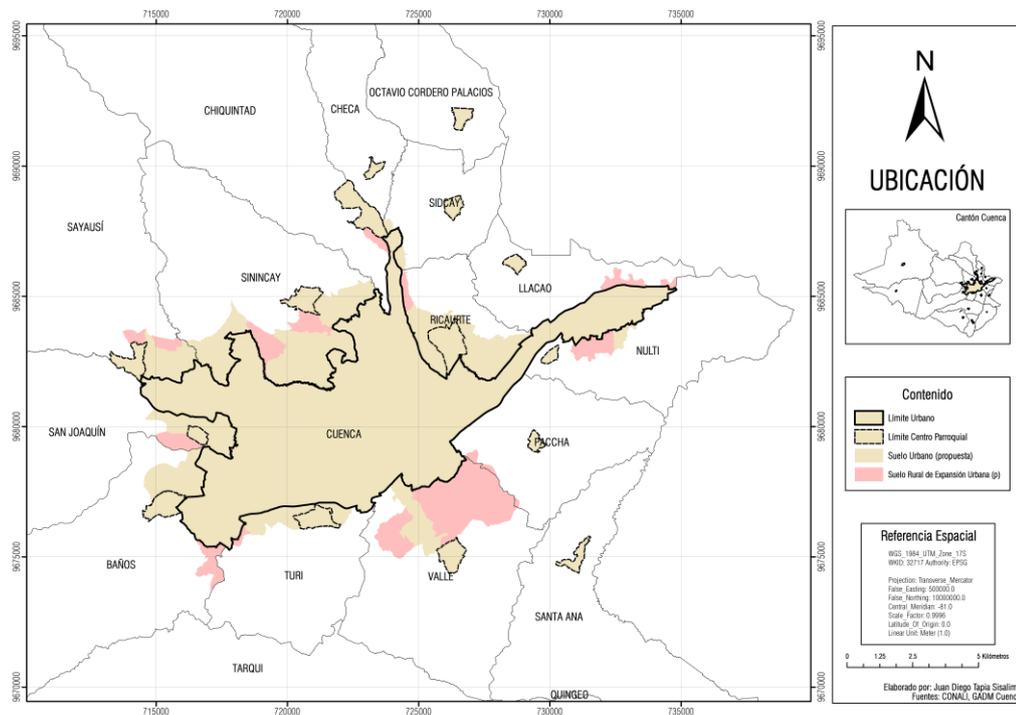


Figura 5. Suelo rural de expansión urbana de acuerdo al PUGS 2019 – 2030

Fuente: GAD Municipal del Cantón Cuenca (2020)

Elaboración propia

El segundo aspecto clave para delimitar el área de estudio concierne tanto a la planificación técnica, como a la ejecución de proyectos destinados al mejoramiento y ampliación de los sistemas de la empresa pública ETAPA EP, la cual, en el ámbito de sus competencias, es la principal entidad municipal promotora de la GIRH en el cantón Cuenca. En relación a su fase de planificación técnica, durante el período 1998 – 2004 ETAPA EP diseñó el programa denominado “Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para Cuenca – II Fase”, el cual permitió disponer de los diseños definitivos de las obras de infraestructura requeridas para la prestación de los servicios básicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental, para una población beneficiaria aproximada de 700,000 habitantes con un horizonte de diseño hasta el año 2030 (F. Ordóñez & ETAPA EP, 2015). El área de cobertura considerada circunscribió al límite urbano cantonal, así como a sectores periurbanos: zonas de expansión urbana y cabeceras parroquiales rurales, con el objetivo de satisfacer la demanda generada por el crecimiento demográfico en Cuenca (TYPESA, ETAPA EP, & BID, 2004). Por otra parte, en relación a la ejecución de proyectos de infraestructura, desde el año 1998 hasta la actualidad, ETAPA EP ha implementado obras de diferente magnitud, entre las que se destacan la planta de tratamiento de aguas residuales Ucubamba, el mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable Culebrillas, el sistema de abastecimiento de agua potable Yanuncay, la ampliación de los sistemas de abastecimiento de agua potable Machángara Norte y Machángara Sur, la ampliación de la planta de tratamiento de agua

potable Tixán, entre otras (ETAPA EP, 2020d). Como resultado de lo expuesto, en la actualidad, el área consolidada de servicio de ETAPA EP dispone de cuatro sistemas principales para el abastecimiento de agua: Culebrillas, Tomebamba, Machángara y Yanuncay, los cuales han sido nombrados de acuerdo a la fuente de agua que los alimenta. Tal como se muestra en la Figura 6, dicha área cubre, casi en su totalidad, al límite urbano cantonal actual, así como a varios centros parroquiales rurales, y, además, a la gran mayoría de áreas de expansión urbana propuestas por el GADM de acuerdo a su planificación hacia el año 2030.

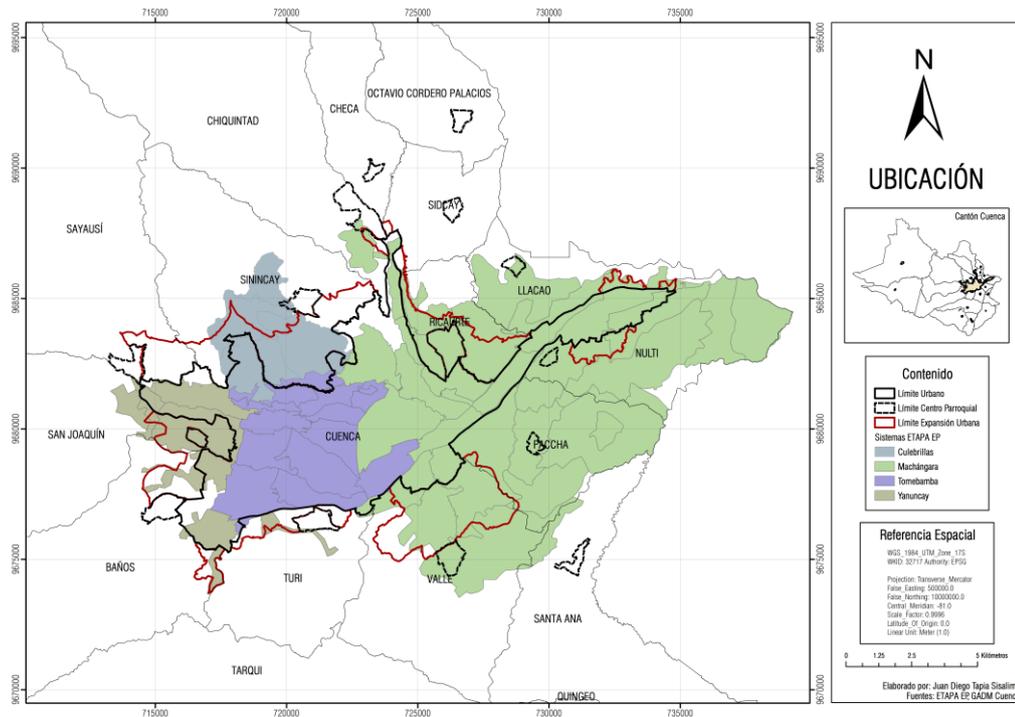


Figura 6. Áreas de servicio de los principales sistemas de abastecimiento de agua potable de ETAPA EP.
 Fuente: ETAPA EP (2020b) & GAD Municipal del Cantón Cuenca (2020)
 Elaboración propia

En correspondencia a lo detallado en la presente sección, el área de estudio, además de considerar el límite urbano cantonal actual, se delimitó a la zona en la cual la empresa ETAPA EP provee y administra el servicio público de agua potable a través de sus cuatro principales sistemas de abastecimiento, tal como se muestra en la Figura 7. El área de estudio abarca una superficie total de 18,500 ha, de la cual, cerca del 60% (10,800 ha) corresponde a suelo clasificado por la DGPT del GADM Cuenca, como suelo urbano o de expansión urbana. Por otro lado, de acuerdo a las proyecciones realizadas por ETAPA EP, a mediados del año 2020 existirían cerca de 540,000 personas en el área de estudio, de las cuales más del 90% habitaría en áreas urbanas o de expansión urbana (ETAPA EP, 2015).

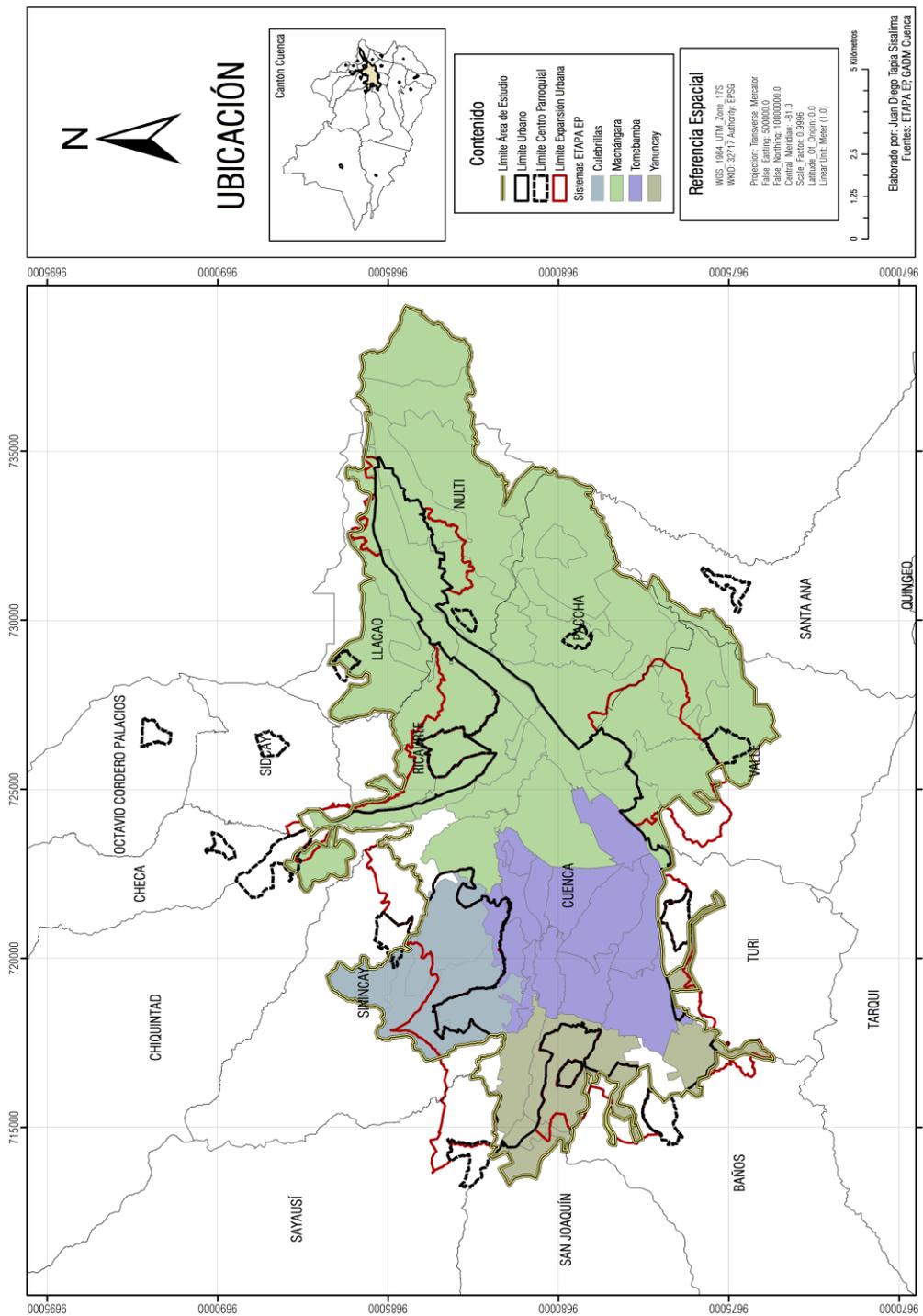


Figura 7. Área de Estudio.
 Fuente: ETAPA EP (2020b) & GADM del Cantón Cuenca (2020)
 Elaboración propia

2.2 Metodología

A pesar de la fundamental importancia de la evaluación de la gestión del agua en las ciudades y de los indicadores como herramienta fundamental para ello, actualmente no existe un marco internacional estandarizado de indicadores que permita llevar a cabo dicha tarea (Koop & Van Leuuwen, 2015b; Van Leuuwen et al., 2012). No obstante, propuestas de indicadores, bajo diferentes marcos ordenadores, pueden encontrarse en publicaciones científicas, en literatura especializada, y, en determinadas normativas nacionales (Fasciolo et al., 2011; Hao et al., 2012; INBO & GWP, 2012; Méndez, 2016).

En este aspecto, el 'City Blueprint Framework' (CBF, por sus siglas en inglés), es un método desarrollado para la evaluación de la sostenibilidad de la GIRH, el cual representa un avance hacia su mejor comprensión y también hacia el abordaje integrado de los desafíos interrelacionados con el sector hídrico (Van Leuuwen et al., 2012). A partir de las experiencias obtenidas de su aplicación, con un enfoque basado en 'aprender haciendo', fueron desarrolladas dos metodologías complementarias, el 'Trends and Pressures Framework' (TPF, por sus siglas en inglés) y el 'Governance Capacity Framework' (GCF, por sus siglas en inglés), las cuales en conjunto conforman la metodología denominada 'City Blueprint Approach' (EIP Water, 2017b; Feingold et al., 2018). Mientras que con el marco TPF se evalúan los principales desafíos de las ciudades y con el marco GCF se identifica dónde éstas pueden mejorar su gobernanza, el método propuesto para la presente investigación, el marco CBF, permite la evaluación de su gestión del agua (EIP Water, 2017b; Feingold et al., 2018), tal como se muestra en la Figura 8.

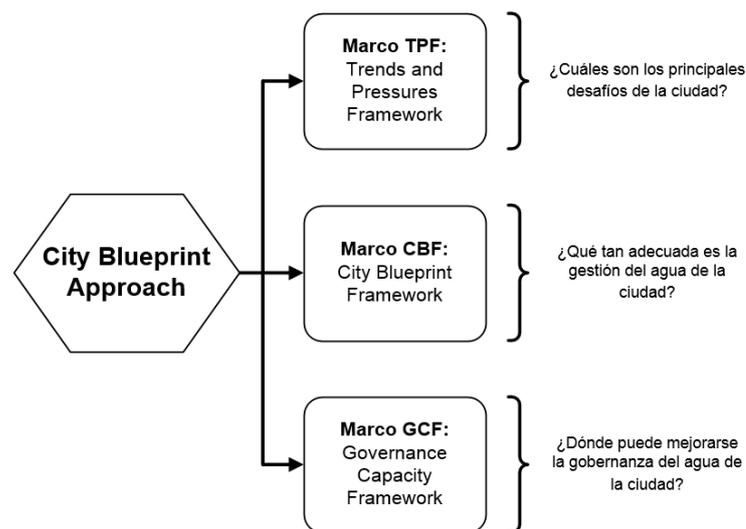


Figura 8. Descripción general del City Blueprint Approach y sus marcos de evaluación.
Fuente: EIP Water (2017)

2.2.1 Método City Blueprint Framework

El método CBF ha sido desarrollado en respuesta a la necesidad primaria de disponer de una evaluación referencial de desempeño del estado actual de la GIRH en las ciudades como parte del proceso de planificación de dicha gestión, la cual implica el desarrollo e implementación de una estrategia flexible que tenga en cuenta, de una manera integral, todas

las áreas del ciclo urbano del agua, así como sus vínculos con otros sectores interconectados (Van Leuuwen et al., 2012). El método CBF está fundamentado en el estudio y evaluación de publicaciones científicas, literatura y documentos de políticas nacionales e internacionales, así como en una variedad de enfoques para la evaluación de la sostenibilidad de la gestión del agua en las ciudades, entre ellos, la huella hídrica, el metabolismo urbano, los servicios ecosistémicos y los indicadores de sostenibilidad (Van Leuuwen & Chandy, 2013; Van Leuuwen et al., 2012). La definición del método se fundamenta en los siguientes parámetros:

- i. Alcance: debe abarcar la seguridad hídrica, la calidad del agua, el agua potable, el saneamiento, la infraestructura, la robustez climática, la biodiversidad, y, la gobernanza.
- ii. Disponibilidad de información: los datos deben ser relativamente fáciles de obtener de fuentes públicas.
- iii. Enfoque: la opción preferida es un enfoque cuantitativo, en el cual se pueden incluir puntuaciones de un panel de expertos.
- iv. Escala: los indicadores deben puntuarse en una escala entre 0 (desempeño muy pobre que requiere mayor atención) y 10 (excelente desempeño que no requiere atención adicional).
- v. Simplicidad: los cálculos y la puntuación de los valores de los indicadores deben ser relativamente sencillos.
- vi. Claridad: los resultados deben ser interpretados y comunicados con relativa facilidad, no solamente a expertos sino también a políticos, políticas y público en general, preferiblemente mediante un gráfico, sin la necesidad de que se conozca el detalle de la metodología aplicada.
- vii. Capacidad de trabajo: la recopilación de información, la selección adicional, los cálculos y la representación gráfica de los resultados deben ser viables.

Originalmente el método CBF constaba de 24 indicadores divididos en las ocho grandes categorías definidas en su alcance (Van Leuuwen & Chandy, 2013; Van Leuuwen et al., 2012). No obstante, como resultado de su naturaleza dinámica y de una retroalimentación constructiva con sustento en sus resultados publicados, el método CBF fue actualizado con el objetivo de considerar indicadores que midan con mayor precisión únicamente los esfuerzos propios de las ciudades en el ámbito de la GIRH (Koop & Van Leuuwen, 2015a, 2015b). En este sentido, actualmente el método CBF comprende un conjunto de 25 indicadores estandarizados de desempeño que se puntúan en una escala de 0 a 10, los cuales están divididos en las 7 categorías principales que se muestran en la Tabla 1. El método CBF ha sido revisado críticamente y todos los indicadores involucrados han sido también críticamente evaluados en relación a su confiabilidad, metodología de puntuación y temporalidad (Schreurs et al., 2017).

Tabla 1. Metodología y características del método CBF.

City Blueprint Framework (CBF)	
Objetivo	Evaluación referencial de desempeño del estado de la GIRH
Marco	<p>Veinte y cinco indicadores divididos en siete categorías principales:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Calidad del agua 2. Desechos sólidos 3. Servicios básicos de agua 4. Tratamiento de aguas residuales 5. Infraestructura 6. Robustez climática 7. Gobernanza
Datos	Información pública o proporcionada por los proveedores de servicios de agua y saneamiento
Puntaje	0 (bajo rendimiento) a 10 (ninguna preocupación)
Puntaje General	Blue City Index (BCI), la media geométrica de los 25 indicadores

Fuente: EIP Water (2017a), Kim et al. (2018)

Tal como se mencionó, los 25 indicadores del método CBF están estandarizados en una escala 0-10, en la cual, un puntaje de 10 es excelente, mientras que un puntaje de 0 es pobre. La puntuación se lleva a cabo a través de la comparación de los valores con un rango internacional, utilizando límites naturales entre 0 y 100% o mediante clases ordinales (EIP Water, 2017a). Adicionalmente, para la puntuación del indicador puede aplicarse el método mín-máx, de acuerdo a la ecuación (1).

$$\text{Puntaje del indicador} = \left(\frac{\text{Valor} - \text{Valor mínimo}}{\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}} \right) \times 10 \quad (1)$$

Los resultados del método CBF se resumen a través de un gráfico radial y del índice Blue City Index (BCI, por sus siglas en inglés). El índice BCI es calculado como la media geométrica de los 25 indicadores del método CBF (Koop & Van Leuwen, 2015a, 2015b). En este aspecto, en la Tabla 2 se muestra una categorización empírica de niveles de sostenibilidad de la GIRH, la cual se deriva del análisis de agrupación jerárquica de los resultados publicados de la aplicación del método CBF en 45 municipios y regiones a nivel mundial, la mayoría de ellos ubicados en Europa (Feingold et al., 2018; Koop & Van Leuwen, 2015a).

El método CBF se aplicó por primera vez en el año 2012 en la ciudad de Rotterdam, Países Bajos (Van Leuwen et al., 2012), y, experimentando un proceso de mejora continua a lo largo de los años, ha sido aplicado para la evaluación de la sostenibilidad de la GIRH en más de 70 municipios y regiones en casi 40 países diferentes (Chang et al., 2020; EIP Water, 2017b; Feingold et al., 2018). Debido a que su metodología es estructurada, clara y concisa, se dice que podría contribuir en el cierre de la brecha existente entre la ciencia, la política y la práctica en el ámbito de la GIRH (Feingold et al., 2018).

Para la aplicación del método CBF es de esencial importancia que la información requerida esté disponible. Los datos a escala de ciudad son a menudo escasos, y, aunque dicha información existe, muchas veces es inaccesible al público, limitando la transparencia, incrementando los costos y el tiempo de inversión y obstaculizando el intercambio de experiencias entre ciudades. En este sentido, cuando para el cálculo de los indicadores se

utilizan datos a escala nacional, la precisión de la evaluación se ve limitada, especialmente en países con condiciones de alta variabilidad regional (Koop & Van Leuwen, 2015b).

Tabla 2. Categorización de los niveles de sostenibilidad de la GIRH.

BCI	Categorías de la GIRH
0-2	<p>Ciudades que carecen de servicios básicos de agua El acceso a agua potable de calidad y a instalaciones de saneamiento son insuficientes. La contaminación del agua, por lo general, es alta debido a la falta de tratamiento de aguas residuales. Producción relativamente baja de residuos sólidos los cuales son recolectados parcialmente y son depositados en vertederos casi de manera exclusiva. El consumo de agua es bajo, pero debido a graves déficit de inversión en infraestructura, las fugas en los sistemas de agua son altas. Los servicios básicos de agua no se pueden ampliar o mejorar debido a la rápida urbanización. Las potenciales mejoras se ven obstaculizadas por la insuficiente capacidad de gobernanza y las brechas de financiación existentes.</p>
2-4	<p>Ciudades derrochadoras Los servicios básicos de agua se cumplen en gran medida, pero el riesgo de inundación puede ser alto y el tratamiento de aguas residuales no tiene suficiente cobertura. El tratamiento de aguas residuales es a menudo únicamente primario y una pequeña fracción tiene tratamiento secundario, hecho que conduce a una contaminación a gran escala. El consumo de agua es alto debido a la falta de conciencia ambiental, mientras que las fugas en la infraestructura son también altas debido a la falta de mantenimiento. La producción de residuos sólidos es alta y éstos son depositados, casi en su totalidad, en vertederos. La participación comunitaria es relativamente baja en muchos casos.</p>
4-6	<p>Ciudades eficientes en agua Se están implementando soluciones tecnológicas centralizadas y bien conocidas para incrementar la eficiencia del agua y para controlar la contaminación. El tratamiento secundario de aguas residuales es alto, y el terciario está incrementando. Tecnologías de uso eficiente del agua son parcialmente aplicadas y las fugas en la infraestructura se reducen sustancialmente, empero, el consumo de agua sigue siendo elevado. La recuperación de energía del tratamiento de aguas residuales es relativamente alta, mientras que la recuperación de nutrientes es limitada. Se aplica parcialmente el reciclaje de residuos sólidos y la recuperación de energía. Ciudades a menudo vulnerables al cambio climático (p. ej. islas de calor urbano e inundaciones de drenaje) como resultado de estrategias de adaptación deficientes, limitada separación de caudales pluviales y bajos índices de superficie verde. El involucramiento de la comunidad en la gobernanza ha mejorado.</p>
6-8	<p>Ciudades adaptativas y eficientes en recursos Técnicas de tratamiento de aguas residuales para recuperación de energía y nutrientes son aplicadas a menudo. El reciclaje de residuos sólidos y la recuperación de energía están cubiertos en gran medida, pero la producción de residuos sólidos aún no ha disminuido. Técnicas de uso eficiente del agua se aplican ampliamente y su consumo se ha reducido. La adaptación climática es aplicada en la planificación urbana (p. ej. incorporación de infraestructura verde y separación de caudales residuales). Iniciativas integrales centralizadas y descentralizadas, de planificación a largo plazo, de involucramiento comunitario y de sostenibilidad son establecidas para hacer frentes a los recursos limitados y al cambio climático.</p>
8-10	<p>Ciudades sabias del agua No existe ciudad alguna que tenga este puntaje de momento. Estas ciudades aplican la recuperación total de energía en su tratamiento de aguas residuales y su tratamiento de residuos sólidos, integran por completo el agua en la planificación urbana, tienen infraestructuras multifuncionales y adaptativas, y, las comunidades locales promueven la toma de decisiones y el comportamiento sostenible e integrado. Las ciudades son en gran medida autosuficientes en agua, atractivas, innovadoras y circulares mediante la aplicación de múltiples soluciones centralizadas y descentralizadas.</p>

Fuente: Koop & Van Leuwen (2015a)

El método CBF es destacable pues podría ayudar a: i) evaluar el desempeño de la GIRH de una ciudad y permitir el intercambio de experiencias; ii) seleccionar mejores estrategias de suministro de agua, saneamiento y adaptación climática; iii) desarrollar alternativas innovadoras para el ciclo del agua, en las que se puedan introducir cambios en el uso de tecnología, espacio y escenarios socioeconómicos; y, iv) seleccionar medidas para mejorar

la GIRH, incluyendo su análisis de costo-beneficio bajo diferentes escenarios de desarrollo y su análisis de integración en la planificación de las inversiones a largo plazo (Van Leuwen & Chandy, 2013). La aplicación y resultados del método CBF permiten una descripción precisa de los esfuerzos de una ciudad para mejorar la sostenibilidad de la GIRH y de los esfuerzos que éstas realizan para aliviar las presiones ambientales, razón por la cual, se constituyen en una guía práctica en la labor hacia un abordaje integrado, efectivo y eficiente de los desafíos en torno al sector hídrico (Koop & Van Leuwen, 2015b).

2.2.2 Indicadores del método CBF

Los 25 indicadores del método CBF, clasificados en las siete categorías principales, se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Método CBF: Indicadores por categoría.

Categoría	Indicador
I. Calidad del agua	1. Tratamiento secundario de aguas residuales 2. Tratamiento terciario de aguas residuales 3. Calidad del agua subterránea
II. Tratamiento de desechos sólidos	4. Desechos sólidos recolectados 5. Desechos sólidos reciclados 6. Energía recuperada de los desechos sólidos
III. Servicios básicos de agua	7. Acceso a agua potable 8. Acceso a saneamiento 9. Calidad del agua potable
IV. Tratamiento de aguas residuales	10. Recuperación de nutrientes 11. Recuperación de energía 12. Reciclaje de lodos 13. Eficiencia energética del tratamiento de aguas residuales
V. Infraestructura	14. Separación de caudales pluviales 15. Antigüedad promedio del sistema de alcantarillado 16. Fugas en los sistemas de agua 17. Recuperación de costos operativos
VI. Robustez climática	18. Espacio azul y verde 19. Adaptación climática 20. Consumo de agua potable 21. Edificios climáticamente robustos
VII. Gobernanza	22. Gestión y planes de acción 23. Participación pública 24. Medidas de eficiencia hídrica 25. Atractivo

Fuente: EIP Water (2017a)

2.3 Información para el cálculo de indicadores

En la presente sección se desarrolla el detalle de cada uno de los 25 indicadores del método CBF en relación a su teoría, descripción y metodología de cálculo (EIP Water, 2017a), así como en relación a las fuentes de información necesarias y disponibles para el área de estudio. De acuerdo a lo detallado en la sección 2.1, dicha área se delimitó a aquella en la cual la empresa ETAPA EP provee y administra el servicio público de agua potable a través de sus cuatro principales sistemas de abastecimiento en el cantón Cuenca.

Categoría I: Calidad del agua

1. Tratamiento secundario de aguas residuales

El objetivo principal del tratamiento secundario de aguas residuales es la remoción de materia orgánica biodegradable y posiblemente nutrientes (nitrógeno y fósforo) a través de reacciones bioquímicas realizadas por microorganismos, tal como se indica en la Tabla 4. A diferencia de los tratamientos preliminares y primarios en los cuales predominan los mecanismos físicos, la esencia del tratamiento secundario es la inclusión de mecanismos biológicos. En este aspecto, sus procesos se conciben de tal manera que aceleran los mecanismos de descomposición que ocurren naturalmente en los cuerpos receptores. Entre los procesos más comunes se incluyen: las lagunas de estabilización, los reactores anaerobios, los sistemas de lodos activados y los reactores aerobios de biopelícula. La eficiencia de remoción de DBO en el tratamiento secundario está en el rango 60-99%, la cual depende del proceso de tratamiento implementado (Von Sperling, 2007).

Tabla 4. Niveles de tratamiento de aguas residuales.

Nivel	Remoción
Preliminar	<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos suspendidos gruesos (material grande y arena)
Primario	<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos suspendidos sedimentables • DBO particulado (suspendido - asociado a la materia orgánica componente de los sólidos suspendidos sedimentables)
Secundario	<ul style="list-style-type: none"> • DBO particulado (suspendido - asociado a la materia orgánica particulada presente en el agua residual cruda o en la materia orgánica particulada no sedimentable, no eliminada en el tratamiento primario posiblemente existente) • DBO soluble (suspendido - asociado a la materia orgánica en forma de sólidos disueltos)
Terciario	<ul style="list-style-type: none"> • Nutrientes • Organismos patógenos • Compuestos no biodegradables • Metales • Sólidos disueltos inorgánicos • Sólidos suspendidos restantes

Nota: Dependiendo del proceso de tratamiento adoptado, la eliminación de nutrientes (por procesos biológicos) y de patógenos, puede considerarse una parte integral del tratamiento secundario.

Fuente: Von Sperling (2007)

En este contexto, el indicador 1 es una medida de la proporción de la población que dispone de conexión a plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de nivel secundario. El enfoque en este nivel de tratamiento responde a que los efluentes del nivel primario son considerados de calidad insuficiente en relación a los requerimientos de remoción de DBO y de eliminación de nutrientes (EIP Water, 2017a). El indicador 1 se calcula de acuerdo a ecuación (2).

$$\text{Indicador}_1 = \frac{WW_2}{10} \tag{2}$$

En la ecuación (2) la variable WW_2 corresponde al porcentaje de la población conectada a una PTAR de nivel secundario.

En el área de estudio, la PTAR de Ucubamba, en operación continua desde el año 1999, es la principal instalación de tratamiento de los caudales residuales ahí generados (ETAPA EP, 2020g). El proceso de depuración de dicha PTAR, luego de un sistema de tratamiento preliminar, se fundamenta en una tecnología de lagunas de estabilización compuesta por dos lagunas aireadas (tratamiento primario), dos lagunas facultativas (tratamiento secundario) y dos lagunas de maduración (tratamiento terciario) (Greeley & Hansen, ACSAM Consultores, & ETAPA EP, 2017). No obstante, debido a condiciones inherentes a ciertas zonas pobladas en los alrededores de Cuenca (p. ej. topografía), ETAPA EP dispone también de al menos 31 PTAR más pequeñas, de tipo secundario, para el correspondiente tratamiento de las aguas residuales ahí generadas (ETAPA EP, 2020g). Con estos antecedentes, la información necesaria para el cálculo del indicador 1 se fundamentó en información catastral y estadística de la empresa ETAPA EP respecto a la cobertura de la PTAR de Ucubamba.

2. Tratamiento terciario de aguas residuales

El objetivo principal del tratamiento terciario de aguas residuales es la remoción de contaminantes específicos (generalmente compuestos tóxicos o no biodegradables) o la eliminación complementaria de aquellos contaminantes que no fueron eliminados de manera suficiente en el tratamiento secundario para un uso específico del efluente, tal como se indica en la Tabla 4. Este nivel de tratamiento incluye a la remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo), patógenos, compuestos no biodegradables, entre otros. Es preciso recalcar que los tratamientos de nivel terciario son poco frecuentes en países en desarrollo (Von Sperling, 2007).

En este sentido, el indicador 2 es una medida de la proporción de la población que dispone de conexión a una PTAR de nivel terciario. Este nivel de tratamiento es importante para la calidad del agua, pues permite la remoción de compuestos químicos, nutrientes y patógenos, previo a la descarga del efluente en el cuerpo receptor (EIP Water, 2017a). El indicador 2 se calcula de acuerdo a la ecuación (3).

$$\text{Indicador}_2 = \frac{WW_3}{10} \quad (3)$$

En la ecuación (3) la variable WW_3 corresponde al porcentaje de la población conectada a una PTAR de nivel terciario.

Tal como se mencionó anteriormente, la mayor proporción del área de estudio dispone de un nivel de tratamiento de tipo terciario para sus aguas residuales, pues la PTAR de Ucubamba, al estar compuesta por lagunas de estabilización aireadas, facultativas y de maduración, en éstas últimas, genera las condiciones adecuadas para la mortalidad bacteriana y para la remoción de nematodos intestinales, además de eliminar patógenos y contaminación remanente de los procesos anteriores (ETAPA EP & Rivera, 2016). Así, para el cálculo de indicador 2 consideró la misma información disponible para el indicador 1.

No obstante, en relación a estos dos primeros indicadores, es necesario mencionar que, a pesar de que en la PTAR de Ucubamba se han implementado mejoras a lo largo de los años, de acuerdo a estimaciones de ETAPA EP, luego del año 2020 ésta alcanzaría su máxima capacidad operativa. Sumado a ello, procesos de urbanización aguas abajo de la PTAR de Ucubamba, han incrementado la necesidad, a corto plazo, de un nuevo sistema de depuración de los caudales residuales. En este sentido, luego de un análisis que consideró aspectos técnicos, eficiencia de los procesos, requerimientos de área, facilidades operativas, costos de inversión, operación y mantenimiento, ETAPA EP ha proyectado una nueva PTAR en el límite cantonal de Cuenca, en el sector de Guangarcucho, la cual recibiría el exceso de caudal que no podría ser procesado por la actual PTAR de Ucubamba, además de los caudales generados aguas abajo de ésta en el área de estudio. De acuerdo a sus diseños definitivos, la PTAR de Guangarcucho se fundamenta en un sistema de lodos activados con alimentación escalonada, ajustable a diferentes condiciones operativas, incluyendo procesos anóxicos y aerobios para la remoción de nutrientes como nitrógeno y fósforo, además de considerar un sistema de desinfección ultravioleta (Greeley & Hansen et al., 2017). Información en relación a la situación descrita, disponible en la empresa ETAPA EP, fue de importancia para la discusión de los indicadores 1 y 2.

3. Calidad del agua subterránea

Los sistemas de agua subterránea representan aproximadamente el 30% del agua dulce de la Tierra y están íntimamente relacionados con los sistemas de agua superficial (D'Odorico & Rodriguez-Iturbe, 2020). La descarga de los acuíferos en cuerpos de agua superficiales o su recarga a partir de ellos, depende de las condiciones locales (Foster & Ait-Kadi, 2012). No obstante, las aguas subterráneas y su nexos con otros sectores estratégicos (p. ej. con la infraestructura urbana, la agricultura o el consumo de energía) son poco conocidos, por lo que su gestión es generalmente inadecuada y muchas veces inexistente (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2015; Foster & Ait-Kadi, 2012). Es importante destacar esta situación, pues en el ámbito de la GIRH y la búsqueda de la sostenibilidad, el agua subterránea se constituye como una fuente complementaria, y, en algunos casos, como la única fuente de abastecimiento de agua potable para poblaciones con escasez de recursos hídricos superficiales, además de ser esencial en ámbitos como la seguridad alimentaria y vital para el funcionamiento de los ecosistemas (Burbano et al., 2015).

En este aspecto, el indicador 3 es una medida de la calidad relativa del agua subterránea (EIP Water, 2017a). Empero, un factor limitante para su cálculo radica en que, a nivel mundial, rara vez los datos de monitoreo de aguas subterráneas están disponibles al público (INBO & GWP, 2012). Sumado a ello, cuando no existe información a nivel local, el cálculo del indicador 3 debe fundamentarse en información a nivel nacional o regional, teniendo en cuenta que, por lo general, la calidad del recurso a nivel local es más baja que el promedio nacional. Así, para el cálculo del indicador 3, el marco CBF recomienda aplicar un método que se ajuste a la información disponible en el área de estudio (EIP Water, 2017a).

Históricamente, en Ecuador, diferentes municipios e instituciones han perforado y excavado pozos con el objetivo de satisfacer la demanda de agua potable de sus habitantes. En relación a ello, en el año de 1983 fue publicado el primer mapa hidrogeológico del país, a escala 1:1,000,000, y, en conjunto con la compilación de aproximadamente 5,000 puntos de agua inventariados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI, dicho mapa sirvió de base para la formulación y definición de las ‘Unidades Hidrogeológicas del Ecuador’, conceptualizadas como medios acuíferos de cierta homogeneidad que se constituyen en unidades naturales de planeamiento y gestión del recurso hídrico subterráneo (Burbano et al., 2015). La definición de las características básicas de dichas unidades hidrogeológicas, así como la cuantificación de sus elementos principales (p. ej. geometría, productividad, nivel piezométrico, calidad química) se encuentra disponible en el documento ‘Introducción a la hidrogeología del Ecuador’ publicado por el INAMHI en el año 2015.

Por otro lado, en el año 2014, con el objetivo de identificar el potencial del recurso subterráneo del Ecuador, un nuevo mapa hidrogeológico, a escala 1:250,000, fue publicado, el cual integró información geológica e hidrogeológica de instituciones gubernamentales, universidades y empresas públicas y privadas del país, así como de organismos de cooperación internacional. Esta información incluyó parámetros de puntos de agua subterránea tales como: nivel piezométrico, profundidad del nivel de agua, caudal, parámetros de calidad del agua, usos del agua, etc. El mapa clasifica los sistemas acuíferos en verificados o potenciales, en función del nivel de información relevante disponible. Finalmente, el mapa identifica a los acuíferos prioritarios para investigación futura en función de criterios tales como: déficit hídrico, vulnerabilidad, nivel de información disponible y permeabilidad (ESPOL-TECH EP, 2014).

Es preciso recalcar que, si bien diferentes entidades están trabajando en la caracterización a detalle de los sistemas de agua subterránea existentes en los alrededores del área de estudio, no se disponen estudios hidrogeológicos definitivos a nivel local. En tal razón, para el indicador 3 se consideró la información disponible sobre las características de las unidades hidrogeológicas en la región, de acuerdo a la información de los mapas nacionales.

Categoría II: Tratamiento de desechos sólidos

4. Desechos sólidos recolectados

Los desechos se generan en todas las etapas de las actividades humanas y su composición y cantidades dependen, en gran medida, de los patrones de producción y consumo de la población. Aunque los desechos municipales representan solamente una parte del total de residuos generados, su gestión y tratamiento demandan significativos esfuerzos técnicos y económicos por parte del sector público, pues un manejo inadecuado podría derivar en impactos negativos en la salud humana y en los servicios y funciones de los ecosistemas relacionados con el agua y el suelo (OECD, 2015).

En este aspecto, la principal conexión de los recursos hídricos, el suelo y los desechos radica en los ciclos hidrológico, energético y biogeoquímico. Empero, el nexo agua-suelo-desechos se ve afectado por procesos tales como la urbanización, la expansión e intensificación de la agricultura, la producción de desechos y energía, la sobreexplotación de los recursos naturales, etc. (Lal, 2015). Por otra parte, tal como se ha discutido, se conoce que el agua y la gestión integrada de los recursos naturales tienen esencial importancia e interrelación con la sostenibilidad (Avellán et al., 2017). En relación a ello, enfoques para la gestión sostenible de los desechos sólidos son imperativos, especialmente en donde los recursos hídricos presenten condiciones de vulnerabilidad (p. ej. en áreas montañosas) (Manfredi et al., 2010). La gestión integrada de residuos sólidos o GIRS, por ejemplo, persigue la eficiencia económica y ecológica de la gestión de los desechos a través de perspectivas sistémicas y científicas. Por su parte, el enfoque '*nexus*' agua-suelo-desechos, al considerar estos tres sectores como recursos, examina las interrelaciones e interdependencias de este sistema complejo, así como sus transiciones y flujos a través de escalas espaciales con la finalidad de lograr su gestión sostenible (Avellán et al., 2017). Se destaca así la importancia de considerar la gestión de desechos sólidos en el ámbito de la GIRH, pues éstos tienen la capacidad de degradar la apariencia física de los recursos hídricos superficiales, así como causar deterioro en la calidad física, química y biológica del agua.

En este contexto, el indicador 4 hace referencia a los desechos recolectados por o en nombre de los municipios, incluyendo los desechos domésticos producidos por los hogares, así como los desechos similares producidos por pequeñas actividades comerciales e industriales, edificios de oficinas, instituciones, establecimientos educativos y empresas que tratan o disponen sus desechos en las mismas instalaciones municipales, sin tomar en cuenta a los desechos de tipo peligroso (EIP Water, 2017a; OECD, 2015). El indicador 4 se calcula de acuerdo a la ecuación (4), en la cual, la variable *SW* corresponde a la tasa anual per cápita de recolección de desechos sólidos expresada en kilogramos/habitante/año.

$$\text{Indicador}_4 = \left(1 - \frac{SW - 165.4}{1155.4 - 165.4}\right) * 10 \quad (4)$$

Basada en el método mín-máx, según el método CBF, la ecuación (4) considera originalmente para su aplicación, los valores de generación per cápita anual de desechos reportados por los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, por sus siglas en inglés) (EIP Water, 2017a). No obstante, es preciso tener en cuenta que la generación de desechos sólidos municipales está, en gran medida, vinculada con factores tales como el crecimiento económico y el desarrollo industrial, razón por la cual, países industrializados con estándares económicos más altos (p. ej. países de la OECD) producen mayor cantidad de desechos (Beyene, Werkneh, & Ambaye, 2018). Por otro lado, factores como la urbanización, el crecimiento demográfico y el desarrollo económico, son los que afectan la generación en países menos industrializados (Beyene et al., 2018). Por lo tanto, para la ecuación (4), se consideraron más bien los valores de generación per cápita anual de desechos sólidos de los países de América Latina y El Caribe, de acuerdo a la última

actualización de la base de datos 'What a Waste Global Database' del Banco Mundial (Banco Mundial, 2020b). De acuerdo al método CBF, el promedio de los valores de producción inferiores al percentil 10 se toma como valor mínimo, mientras que el promedio de los valores superiores al percentil 90 se toma como valor máximo, resultando dichos valores en 1155.4 kg/hab/año y 165.4 kg/hab/año, respectivamente.

En el cantón Cuenca, la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca – EMAC EP, es la responsable de la prestación de servicios públicos de barrido, limpieza, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos no peligrosos y peligrosos, así como del mantenimiento, recuperación, readecuación y administración de áreas verdes y parques incluyendo su equipamiento, sus servicios complementarios, conexos y afines (Ilustre Concejo Cantonal de Cuenca, 2010a). Desde el año de 1998 la GIRS en el área de estudio está a cargo de dicha empresa, la cual tiene una cobertura de recolección cantonal del 94.4% (EMAC EP, 2020a). Por lo tanto, la información requerida del área de estudio para el cálculo del indicador 4 se fundamentó en información estadística de la empresa EMAC EP.

5. Desechos sólidos reciclados

La falta de eficiencia y eficacia en los sistemas de gestión y eliminación de los desechos sólidos municipales derivan en efectos adversos tanto en la salud ambiental como en la salud humana como resultado de la contaminación del aire, agua y suelo. Su gestión sostenible es de esencial importancia, principalmente en aquellas locaciones donde ecosistemas, recursos hídricos superficiales y acuíferos subterráneos son vulnerables (Manfredi et al., 2010). Así, de acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA, por sus siglas en inglés), la GIRS es un sistema integral de reducción, recolección, compostaje, reciclaje y eliminación de los desechos sólidos (EPA, 2002; LeBlanc, 2019). Este enfoque considera cómo reducir, reusar, reciclar y gestionar los desechos con el objetivo de proteger efectivamente la salud humana y el medio ambiente, lo que en primer lugar implica la evaluación de las necesidades y condiciones locales, y, luego, la selección, combinación y aplicación de actividades de gestión más apropiadas para esas condiciones. La GIRS incluye cuatro actividades de gestión funcionales: i) reducción en la fuente; ii) reciclaje y compostaje; iii) transporte de desechos; y; iv) eliminación en rellenos sanitarios; mismas que pueden llevarse a cabo de forma interactiva o jerárquica, demandando de una planificación cuidadosa y de financiamiento (EPA, 2002).

En lo que respecta al reciclaje y compostaje, éstas actividades se constituyen como cruciales en el proceso de la GIRS. La primera incluye la acumulación, clasificación y recuperación de materiales reciclables y reutilizables (p. ej. vidrio, metal, plástico, papel), así como su re-procesamiento para obtener nuevos materiales o productos. La segunda es un componente del reciclaje orgánico e implica la acumulación de desechos orgánicos y su conversión en aditivos del suelo a través de la descomposición biológica aeróbica controlada de la materia orgánica. Tanto el reciclaje como el compostaje derivan en una serie de beneficios económicos: crean oportunidades de trabajo; desvían materiales del flujo de desechos generando fuentes rentables de materias primas; producen compost para mejorar la calidad

de los suelos; y, contribuyen significativamente a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (EPA, 2002; LeBlanc, 2019).

En este sentido, el indicador 5 representa el porcentaje del total de desechos municipales recolectados que se reciclan o se compostan. Para su cálculo es preciso considerar que cuando los desechos sólidos se utilizan para la recuperación de energía (p. ej. a través de la incineración), no es posible su reciclaje, aunque ambas prácticas se consideren sostenibles. Cuando aquello ocurra, el porcentaje de desechos utilizados para la valorización energética se resta del total recolectado para obtener así un porcentaje potencial de desechos sólidos reciclables (EIP Water, 2017a). Por lo tanto, el indicador 5 se calcula de acuerdo a la ecuación (5).

$$\text{Indicador}_5 = \left(\frac{SW_r}{100 - SW_e} \right) * 10 \quad (5)$$

En la ecuación (5) la variable SW_r corresponde al porcentaje de desechos sólidos recolectados que se reciclan o compostan, mientras que la variable SW_e corresponde al porcentaje de desechos utilizados para la recuperación de energía.

La empresa EMAC EP, a través de un sistema inclusivo, controla y fomenta el reciclaje de los desechos sólidos generados en el cantón Cuenca (EMAC EP, 2020b). De acuerdo a la normativa legal vigente, en el área de estudio, toda la ciudadanía está obligada a clasificar y almacenar diferenciadamente los residuos y desechos sólidos con el objetivo de favorecer a su reducción, recolección, tratamiento, aprovechamiento, reciclaje y reutilización, así como a disponerlos para que sean recolectados cumpliendo los horarios y frecuencias establecidas por la EMAC EP para cada tipo de residuos, empresa facultada para la imposición de multas por incumplimiento (Ilustre Concejo Cantonal de Cuenca, 2003). Por lo tanto, la información requerida para el cálculo del indicador 5 se sustentó en información estadística de la empresa EMAC EP.

6. Energía recuperada de los desechos sólidos

En el ámbito de la sostenibilidad, al considerar una priorización en la eficiencia en el uso de recursos y en función de aquello más apropiado con el medio ambiente, las opciones de gestión de los desechos sólidos municipales se jerarquizan de acuerdo a la Figura 9. Con el objetivo de reducir la cantidad de desechos generados la prevención es prioritaria, luego de lo cual se precisa la reutilización. Cuando ésta no sea posible se debe procurar el reciclaje, y, antes de optar por la disposición final, es importante considerar la valorización energética como último recurso para los desechos sólidos que no se pudieron evitar, desviar o recuperar en los procesos superiores de gestión mostrados en la Figura 9 (FARN, 2018).

La valorización energética de los desechos sólidos municipales (Waste to Energy o WtE, en inglés) implica procesos que permiten captar la energía proveniente de ellos, y, previamente a su disposición final, convertirlos en energía renovable. Las tecnologías más consolidadas a nivel mundial para valorización energética abarcan dos tipos procesos: i) conversión térmica,

incluyendo la incineración, la gasificación, la termólisis y la pirólisis; y, ii) conversión química, incluyendo la digestión anaerobia y la fermentación. De la transformación energética de la biomasa de los desechos sólidos se obtienen así, tres productos principales: calor, electricidad y combustible. (Beyene et al., 2018; INERCO, 2018)

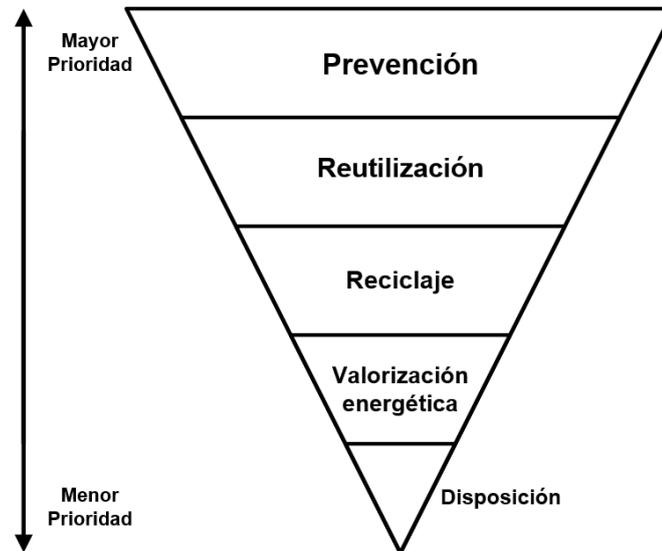


Figura 9. Jerarquía para el tratamiento de desechos sólidos municipales.
Fuente: FARN (2018)

En este aspecto, el indicador 6 representa el porcentaje del total de desechos municipales recolectados que son utilizados para la valorización energética. Se debe tener en cuenta que, cuando los desechos sólidos se reciclan o compostan, no es posible utilizarlos también para este fin. Por lo tanto, para el cálculo del indicador 6, el porcentaje de desechos que se reciclan o compostan se resta del total recolectado para obtener así un porcentaje potencial de desechos sólidos que se pueden utilizar para la valorización energética (EIP Water, 2017a). El indicador 6 se calcula de acuerdo a la ecuación (6).

$$\text{Indicador}_6 = \left(\frac{SW_e}{100 - SW_r} \right) * 10 \quad (6)$$

En la ecuación (6) la variable SW_e corresponde al porcentaje de desechos utilizados para la valorización energética, mientras que la variable SW_r corresponde al porcentaje de desechos sólidos recolectados que se reciclan o compostan.

En el área de estudio, la GIRS a cargo de la empresa EMAC EP no incluye, actualmente, procesos de valorización energética. La disposición final de los desechos sólidos se efectúa en un relleno sanitario que cumple la normativa ambiental legal vigente (EMAC EP, 2018). No obstante, desde el año 2017, en el relleno sanitario comenzó a operar un sistema que permite el aprovechamiento del biogás producido en las celdas de dicha instalación con el objetivo de generar energía eléctrica (EMAC EP, 2020b). Aunque la captura de gas de un relleno sanitario permite el aprovechamiento energético de los residuos (Beyene et al., 2018; Quesada, 2018), esta práctica no es una tecnología de valorización energética *per se*, pues, es aplicada luego

de la disposición final de los desechos. Sin embargo, este proyecto impulsado por la EMAC EP, resultó de interés para la discusión del indicador 6.

Categoría III: Servicios básicos de agua

7. Acceso a agua potable

En relación al adecuado cumplimiento del derecho humano al agua (ver sección 6.1), y, si bien no existe una norma jurídica internacional respecto a su accesibilidad física, el Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento del Agua, el Saneamiento y la Higiene (JMP, por sus siglas en inglés), ha establecido una clasificación de niveles de servicio de agua potable doméstica, la cual se fundamenta en los tipos de fuentes, con criterios adicionales sobre accesibilidad, calidad y disponibilidad del servicio de abastecimiento, tal como se detalla en la Tabla 5 (Organización Mundial de la Salud, 2017; Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019). Los tres niveles superiores de servicio corresponden a poblaciones que utilizan fuentes mejoradas con un diseño que las protege frente a la contaminación, mientras que los dos niveles inferiores corresponden a aquellas que utilizan aguas superficiales y otras fuentes no mejoradas (Organización Mundial de la Salud, 2017).

Tabla 5. Clasificación del JMP para el agua potable doméstica.

Nivel de servicio		Definición			
		Tipo de Fuente	Disponibilidad	Calidad	Accesibilidad
I	Gestionado de forma segura	Fuente mejorada	En el momento necesario	Libre de contaminación fecal y sust. químicas*	Dentro de vivienda, patio o parcela (<i>in situ</i>)
II	Básico	Fuente mejorada	-	-	Tiempo de recogida** menor a 30 minutos
III	Limitado	Fuente mejorada	-	-	Tiempo de recogida** mayor a 30 minutos
IV	No mejorado	Pozo o manantial no protegido	-	-	-
V	Sin servicio	Río, arroyo, represa, lago, estanque o canal	-	-	-

*Sustancias químicas prioritarias de acuerdo a la Directiva marco del agua (DMA) 2000/60/CE

**El tiempo de recogida incluye trayecto de ida y vuelta y tiempo de espera

Fuente: Organización Mundial de la Salud (2017)

En la Tabla 5, se considera como ‘fuente mejorada’ a aquella que, en función de la naturaleza de su diseño e implementación, potencialmente es capaz de suministrar agua segura. Se incluye en esta categoría al agua entubada, al agua lluvia, a los manantiales protegidos, a los pozos perforados o entubados y a los pozos excavados cubiertos. Tanto el agua embotellada como el agua suministrada por camiones cisterna también son consideradas como fuentes mejoradas, no obstante, pueden corresponder únicamente a los niveles de servicio III, IV o V. Por otra parte, los pozos descubiertos, los manantiales desprotegidos, el agua suministrada por carros pequeños con bidones y el agua extraída directamente de fuentes superficiales no se consideran fuentes mejoradas (Organización Mundial de la Salud, 2017; Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019).

En este contexto, el indicador 7 hace referencia a la proporción de la población en el área de estudio que tiene acceso a agua con un nivel de servicio I de acuerdo a la clasificación del JMP. El indicador se calcula de acuerdo a la ecuación (7).

$$\text{Indicador}_7 = \frac{DW}{10} \quad (7)$$

En la ecuación (7) la variable *DW* corresponde al porcentaje del total de la población que dispone de un servicio de abastecimiento de agua 'gestionado de forma segura', es decir, un servicio que cumpla satisfactoriamente con los tres factores fundamentales que garantizan el adecuado ejercicio de este derecho humano.

De acuerdo a la política de calidad de ETAPA EP, los procesos de potabilización dentro del cantón Cuenca se enfocan hacia el cumplimiento de estándares de calidad, así como de los requisitos legales/reglamentarios, del cliente y de las partes interesadas, a través de una mejora continua y un compromiso con la sostenibilidad (ETAPA EP, 2020f). En este sentido, ETAPA EP cuenta con la certificación del Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001:2015 a los procesos de potabilización realizados en sus principales sistemas de tratamiento de agua (ETAPA EP, 2020f). Asimismo, el laboratorio en el cual se efectúa el control de calidad del agua distribuida en el cantón cuenta con la certificación ISO/IEC 17025:2015 (ETAPA EP, 2020f). En el área de estudio, los cuatro sistemas de abastecimiento de agua potable principales de ETAPA EP (Sistema Tomebamba – Machángara Centro, Sistema Yanuncay, Sistema Culebrillas y Sistema Machángara Norte & Sur), tienen un nivel de servicio clasificado como 'gestionado de forma segura'. Por lo tanto, la información para el cálculo del indicador 7 se sustentó en información estadística de la empresa ETAPA EP.

8. Acceso a saneamiento

Al igual que para el caso del acceso a agua potable, el JMP ha establecido una clasificación de niveles de servicio de saneamiento, la cual se fundamenta, para este servicio, en los tipos de instalación, con criterios adicionales sobre su exclusividad y sobre la eliminación y el tratamiento de los excrementos, tal como se detalla en la Tabla 6 (OMS/UNICEF, 2017; Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019). Se debe tener en cuenta que se considera como 'instalación mejorada' a aquella cuyo diseño permite la separación higiénica de los excrementos del contacto humano. Los inodoros de sifón conectados a redes de alcantarillado, las fosas sépticas o letrinas de fosa, las letrinas mejoradas ventiladas, las letrinas de compostaje y las letrinas de fosa simple con losa pertenecen a este tipo de instalación de saneamiento (OMS/UNICEF, 2017).

De acuerdo a la Tabla 6, en un servicio de saneamiento gestionado de forma segura, además de que la población utiliza instalaciones mejoradas que no se comparten entre hogares, los excrementos producidos deben ser: i) tratados y eliminados *in situ*; ii) almacenados temporalmente y luego vaciados, transportados y tratados en una instalación externa; o, iii)

transportados a través de una red de alcantarillado y luego tratados en una instalación externa (OMS/UNICEF, 2017).

Tabla 6. Clasificación del JMP para los servicios de saneamiento.

Nivel de servicio		Definición			
		Tipo de Instalación	Exclusividad	Eliminación de excrementos	Tratamiento de excrementos
I	Gestionado de forma segura	Mejorada	No se comparte con otros hogares	Segura <i>in situ</i> o se transportan	<i>In situ</i> o en instalación externa
II	Básico	Mejorada	No se comparte con otros hogares	-	-
III	Limitado	Mejorada	-	-	-
IV	No mejorado	Letrina de fosa simple sin losa, colgante o de cubo	-	-	-
V	Defecación al aire libre	Depósito de heces humanas a cielo abierto	-	-	-

Fuente: OMS/UNICEF (2017)

En este sentido, el indicador 8 hace referencia a la proporción de la población en el área de estudio que tiene acceso a saneamiento con un nivel de servicio I de acuerdo a la clasificación del JMP. El indicador se calcula de acuerdo a la ecuación (8).

$$\text{Indicador}_8 = \frac{WW}{10} \quad (8)$$

En la ecuación (8) la variable *WW* corresponde al porcentaje del total de la población que dispone de un servicio de saneamiento 'gestionado de forma segura', es decir, que se sirve de un sistema de eliminación, recolección y tratamiento de los caudales sanitarios generados en las viviendas.

El sistema de alcantarillado del cantón Cuenca está constituido por redes de tipo sanitario, pluvial y combinado, así como por interceptores instalados en las márgenes de las quebradas y de los ríos del área de estudio, lo que permite la recolección y transporte, de la mayor proporción de los caudales residuales generados hacia la PTAR de Ucubamba (ETAPA EP, 2020i; Greeley & Hansen et al., 2017). Como ya se había mencionado, los sistemas de saneamiento más pequeños del área rural también disponen de redes de alcantarillado que descargan en PTAR de tipo secundario. El servicio de saneamiento en el área de estudio se clasifica entonces como 'gestionado de forma segura', por lo que, para el cálculo del indicador 8, se utilizó información estadística de la empresa ETAPA EP.

9. Calidad del agua potable

Uno de los principales aspectos de la GIRH es la calidad del agua. En relación a ello, se considera como agua de consumo humano segura, a aquella que cuando se consume a lo largo de toda una vida no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que se pueden presentar en las distintas etapas de la existencia de una persona (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Los estándares de la calidad del agua potable suministrada a una población se fundamentan en sus características microbiológicas, químicas, radiológicas y físicas; y, tienen referencia en los requerimientos técnicos establecidos por las autoridades sanitarias nacionales, los cuales, por lo general, están alineados con las ‘Guías para la calidad del agua de consumo humano’ de la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2017). Las Guías proporcionan recomendaciones para la gestión del riesgo de los peligros que podrían comprometer la seguridad del agua potable e incluyen una descripción de procedimientos mínimos y valores de referencia numéricos específicos de los componentes del agua en relación a su calidad (Organización Mundial de la Salud, 2018). No obstante, límites obligatorios deberían considerar condiciones sociales, culturales, económicas y ambientales locales, razón que explica la no adopción de normas internacionales para la calidad del agua de consumo humano, sino más bien, la formulación de normas y reglamentos nacionales que consideren análisis de riesgos y beneficios cualitativos y/o cuantitativos inherentes a dichas condiciones locales (Organización Mundial de la Salud, 2018).

En este aspecto, el indicador 9 hace referencia al nivel de cumplimiento de la normativa local existente en relación a la calidad física, química, radiológica y bacteriológica del agua potable (EIP Water, 2017a). El indicador 9 se calcula de acuerdo a la ecuación (9).

$$\text{Indicador}_9 = \frac{X}{Y} * 10 \quad (9)$$

En la ecuación (9) la variable Y representa el número total de muestras tomadas para verificar el cumplimiento de la calidad del agua, mientras que la variable X representa el número de ellas que han cumplido satisfactoriamente los parámetros mínimos exigidos por la normativa vigente.

Como indicó anteriormente, la empresa ETAPA EP cuenta con la certificación ISO 9001:2015 a los procesos de potabilización de los principales sistemas de producción y distribución de agua en el área de estudio. Adicionalmente, el agua suministrada está sujeta a un programa de muestreo diario para su control de calidad en un laboratorio especializado, que cuenta con la certificación ISO/IEC 17025:2015. Dicho programa persigue garantizar el servicio y detectar posibles alteraciones de la calidad del agua durante su distribución (ETAPA EP, 2020f). Con estos antecedentes, la información para el cálculo del indicador 9 se sustentó en la información disponible del laboratorio de agua potable de la empresa ETAPA EP.

Categoría IV: Tratamiento de aguas residuales

10. Recuperación de nutrientes

En el ámbito de la GIRH, la imperante necesidad de una mejor gestión de las aguas residuales ha emergido como resultado del incremento de la demanda del agua y de la presión a la que se ven sometidos los recursos hídricos debido a su excesiva captación y contaminación derivadas de la creciente urbanización, así como por los efectos del cambio climático. Dicha

gestión implica, además de la prevención o reducción de la contaminación en la fuente, la recolección y el tratamiento de las aguas residuales, la reutilización de los caudales tratados y la recuperación de los subproductos útiles. Esto resultaría en beneficios sociales, ambientales y económicos, contribuyendo además al bienestar y a la salud, a la seguridad hídrica y alimentaria, y, en suma, al desarrollo sostenible (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017). Con el fomento de la GIRH y de la sostenibilidad, las aguas residuales municipales han ganado relevancia como una fuente rentable de agua, energía, materia orgánica y nutrientes, convirtiéndose en elementos fundamentales en la economía circular por su abundancia y valor (Qadir et al., 2020).

Existe un gran potencial para la recuperación de nutrientes de los desechos humanos para transformarlos en un recurso renovable de suministro constante. Solamente la orina humana aporta el 80% del nitrógeno total y entre el 40 y 50% de la carga total de fósforo de las aguas residuales municipales. Cabe mencionar que el fósforo (P) es esencial para mantener todas las formas de vida, y, junto con el nitrógeno (N), son los principales componentes de los fertilizantes comerciales (Theregowda, González-Mejía, Ma, & Garland, 2019). En este aspecto, la recuperación total del N y P contenidos en las aguas residuales podrían cubrir hasta un 13.4% de la demanda global de nutrientes fertilizantes, destacando así su importante rol en la agricultura y en la seguridad alimentaria (Qadir et al., 2020). No obstante, procesos de tratamiento que permitan al mismo tiempo, cumplir parámetros para la reutilización o descarga de los efluentes y la recuperación de N y P, son un desafío actual que demanda de tecnologías innovadoras. La separación de la orina o procesos químicos específicos que permitan la retención de una proporción significativa de materia orgánica y nutrientes en los efluentes tratados para utilizarlos como agua de riego son enfoques en desarrollo (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017; Qadir et al., 2020).

Al considerar la eficiencia en el uso de recursos, así como la prevención y reducción de la contaminación hídrica y el mejoramiento de la calidad del agua, la recuperación de nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales es esencial en la GIRH (Qadir et al., 2020).

En este contexto, el indicador 10 representa el nivel de recuperación de nutrientes en el sistema de tratamiento de aguas residuales del área de estudio (EIP Water, 2017a). El indicador 10 se calcula de acuerdo a la ecuación (10).

$$\text{Indicador}_{10} = \frac{WW_n}{WW_t} * \text{Indicador}_1 \quad (10)$$

En la ecuación (10) la variable WW_n representa el volumen de caudal residual tratado en las PTAR con técnicas que permiten la recuperación de nutrientes, expresado en $\text{m}^3/\text{año}$. Por su parte, la variable WW_t representa el volumen total de aguas residuales que ingresa en las PTAR, igualmente en $\text{m}^3/\text{año}$. Con el objetivo de una mejor representación del concepto de metabolismo urbano, así como para valorar el potencial de extracción de nutrientes, en el

cálculo del indicador 10 se considera, a través del indicador 1, el porcentaje de aguas residuales que no es tratado en absoluto.

Tal como se mencionó anteriormente, actualmente, la PTAR de Ucubamba es la principal proveedora de saneamiento en el área de estudio. No obstante, sus procesos de tratamiento no consideran técnicas de recuperación de nutrientes de los caudales residuales afluentes.

11. Recuperación de energía

Energía química, energía térmica y energía hidráulica contenida en el agua residual pueden ser recuperadas en forma de biogás, generación de electricidad y calefacción/refrigeración mediante procesos *in situ* y *ex situ*. Las tecnologías *in situ* se relacionan con procesos de tratamiento de lodos/biosólidos integrados a las PTAR, mientras que la valorización energética *ex situ* implica procesos de tratamiento térmico en plantas centralizadas (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017). Así, por ejemplo, los compuestos orgánicos de las aguas residuales pueden ser convertidos, a través de digestión anaerobia, en biogás con alto contenido de metano. Esto es importante al tener en cuenta que la cantidad de energía contenida en las aguas residuales es casi cinco veces mayor a la requerida para realizar sus procesos de tratamiento (Qadir et al., 2020).

La recuperación de energía del agua residual tiene un gran potencial comercial respecto a la reducción del consumo energético de las PTAR, así como de sus costos operativos y su huella de carbono (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017; Qadir et al., 2020). No obstante, más allá de lograr un ciclo de tratamiento neutral en energía, las PTAR tienen un importante potencial de producción de energía para devolverla a las ciudades generadoras de los caudales residuales (Qadir et al., 2020). En el ámbito de la GIRH, la implementación de mejores prácticas de gestión y la integración con consideraciones energéticas, podría representar un importante hito hacia la sostenibilidad, especialmente en países donde la recolección y el tratamiento de aguas residuales no siempre es un hecho.

En este sentido, el indicador 11 refleja la cantidad de energía recuperada por el sistema de tratamiento de aguas residuales (EIP Water, 2017a). El indicador 11 se calcula de acuerdo a la ecuación (11).

$$\text{Indicador}_{11} = \frac{WW_e}{WW_t} * \text{Indicador}_1 \quad (11)$$

En la ecuación (11) la variable WW_e representa el volumen de caudal residual tratado en las PTAR con técnicas que permiten la recuperación de energía, expresado en $\text{m}^3/\text{año}$. Por su parte, la variable WW_t representa el volumen total de aguas residuales que ingresa en las PTAR, igualmente en $\text{m}^3/\text{año}$. En el mismo sentido que para el indicador anterior, en el cálculo del indicador 11, la multiplicación por el indicador 1 permite considerar el porcentaje de aguas residuales que no es tratado en absoluto en el área de estudio.

En la actualidad la PTAR de Ucubamba no incluye en sus procesos de tratamiento técnicas que permitan la recuperación de energía del caudal residual afluente, destacando que únicamente su tratamiento primario demanda un alto consumo energético. Sin embargo, de acuerdo a los diseños definitivos de la PTAR de Guangarcucho, el biogás de la digestión anaerobia de los lodos sería utilizado como combustible en esta instalación, considerando también la posibilidad futura de cogeneración (Greeley & Hansen et al., 2017). Este particular, así como información respecto al consumo energético de la PTAR de Ucubamba, resultaron de interés en la discusión del indicador 11.

12. Reciclaje de lodos

Como ya se había mencionado, en el contexto de la GIRH, una mejor gestión de las aguas residuales involucra también la recuperación de los subproductos útiles, tal es el caso de los lodos residuales. Mientras que los efluentes tratados por las PTAR regresan a los ecosistemas, los lodos generalmente son dispuestos en rellenos sanitarios, concepción lineal que representa una fuga de energía (Aguilar-Benitez & Blanco, 2018). Los procesos de valorización de los biosólidos como productos se clasifican según sus usos en: i) aplicaciones agrícolas, según su composición y la normativa vigente; ii) suelos destinados a paisajismo y zonas verdes, principalmente para restauración y compostaje; iii) recuperación de nutrientes; y, iv) otros usos tales como insumos para materiales de construcción y labores de humificación. Adicionalmente, otro grupo de usos se asocia el aprovechamiento de su potencial energético, mediante diversos tratamientos térmicos que permiten mejorar la eficiencia energética de las PTAR y reducir sus tasas de emisión de metano (Rincón, Mendoza, & Gómez, 2019). Aunque históricamente los lodos han significado un problema en el ámbito de la operación y mantenimiento de las PTAR municipales, el avance tecnológico reciente ha evidenciado oportunidades para su uso, al convertir los lodos en biosólidos, disminuyendo olores desagradables, mejorando su composición y secado y ofreciendo un producto útil, ya sea como fertilizante agrícola u ornamental, sustrato para canchas de golf, remediación de suelos de minería, material de construcción, e incluso, producción energética (Greeley & Hansen & ETAPA EP, 2019).

En este aspecto, el indicador 12 es una medida de la proporción de los lodos producidos en las PTAR que son reciclados o reutilizados (EIP Water, 2017a). El indicador 12 se calcula de acuerdo a la ecuación (12).

$$\text{Indicador}_{12} = \frac{S_r}{S_t} * \text{Indicador}_1 \quad (12)$$

En la ecuación (12) la variable S_t representa el peso seco del total del lodo producido, mientras que la variable S_r corresponde al peso seco de los lodos que son reciclados (p. ej. mediante procesamiento térmico) y/o reutilizados (p. ej. en la agricultura). Las dos variables se expresan en toneladas. En la ecuación (12), al multiplicar el primer término por la cobertura de tratamiento de aguas residuales de nivel secundario (indicador 1), se evalúa de mejor manera el potencial de recuperación de nutrientes y energía alcanzado con el reciclaje de biosólidos.

En el área de estudio, el proceso de tratamiento de la PTAR de Ucubamba implica la generación de una cantidad sustancial de lodos, así como su acumulación en el fondo de las lagunas aireadas y facultativas, hecho que supone la reducción de la eficiencia y capacidad de tratamiento de la PTAR (TYPASA et al., 2004). En relación a ello, los lodos extraídos de las lagunas no son ni reciclados ni reutilizados, sino que son trasladados hasta el relleno sanitario de la empresa EMAC EP para su co-disposición conjunta con los desechos sólidos municipales. No obstante, ETAPA EP se encuentra gestionando la ejecución de los estudios de factibilidad y diseños definitivos de un plan maestro de gestión de biosólidos de las PTAR de Cuenca (Greeley & Hansen & ETAPA EP, 2019). En este sentido, información relacionada disponible en ETAPA EP sirvió de base para la discusión del indicador 12.

13. Eficiencia energética del tratamiento de aguas residuales

La energía se constituye en un insumo crítico en la provisión de servicios de agua y saneamiento. El tratamiento de aguas residuales es un proceso costoso y, por lo general, de alta demanda energética, además de una fuente de emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero (NSW Government, 2019). La incidencia de la energía en los costos operativos asociados puede llegar a representar entre el 5% y el 40% del total, únicamente como gastos de electricidad. En este aspecto, ya que las inversiones en eficiencia y valorización energética en los sistemas de aguas residuales tienen el potencial de generar altas tasas de rendimiento (Qadir et al., 2020), cualquier mejora en la eficiencia energética en la provisión de este servicio, ya sea por ahorro de agua o energía, representa, al mismo tiempo, disminución de los costos operativos e incremento en la eficiencia económica, contribuyendo así a la sostenibilidad y convirtiéndose en fundamental en el proceso de la GIRH (Ferro & Lentini, 2015).

El consumo energético en las PTAR depende en gran medida de sus procesos de tratamiento. Generalmente, tres procesos son los responsables de hasta un 90% de dicho consumo: i) sistema de aireación de lodos activados (~40-50%); ii) bombeo (~30-50%); y, iii) tratamiento y deshidratación de lodos (~5-20%). Asimismo, existen tres alternativas principales para la reducción de costos de energía en las PTAR: i) reducción del consumo a través de medidas de eficiencia; ii) generación de energía renovable *in situ* (p. ej. solar fotovoltaica, eólica o biogás); y, iii) mejor gestión de la oferta y demanda energética (p. ej. corrigiendo el factor de potencia) (NSW Government, 2019). Medidas de eficiencia energética en las PTAR incluyen: remoción de la mayor cantidad de sólidos posibles en el tratamiento primario para disminuir el volumen a tratar en los siguientes procesos; optimización del proceso de aireación mediante la implementación de sistemas de control; optimización de los sistemas de bombeo; optimización del flujo de caudales residuales y del flujo de retorno de lodos activados; implementación de fosas de oxidación en tratamientos aerobios; reducción de la cantidad de agua en los lodos para descomprimir necesidades de bombeo y disposición final; etc. (Ferro & Lentini, 2015; NSW Government, 2019).

En este contexto, el indicador 13 es una medida de la eficiencia energética de los procesos de tratamiento de aguas residuales en el área de estudio. En la Tabla 7 se detallan los criterios de evaluación del indicador, mismos que otorgan una puntuación baja cuando las medidas de eficiencia energética existentes son limitadas (EIP Water, 2017a).

Tabla 7. Criterios de autoevaluación para indicadores del método CBF.

Puntaje	Criterio de evaluación
0	• No existe información disponible sobre la temática
1	• Información limitada está disponible en documentación nacional
2	• Información limitada está disponible en documentación nacional y también local
3	• La temática es abordada en un capítulo en un documento nacional
4	• La temática es abordada en un capítulo en un documento nacional y en un documento local
5	• Un plan de política local está disponible en un documento de acceso público
6	• Condiciones de 5. Adicionalmente, la temática es abordada en el sitio web local
7	• Planificación implementada y comunicada al público de manera clara
8	• Condiciones de 7. Adicionalmente, subsidios están disponibles para la implementación de los planes
9	• Condiciones de 8. Adicionalmente, se elaboran informes anuales sobre el progreso de la implementación y/o cualquier otra actividad que indique su muy alta prioridad a nivel local
10	• Condiciones de 9. Adicionalmente, la actividad se lleva a cabo por al menos 3 años

Fuente: EIP Water (2017a)

Para la puntuación del indicador 13 se debe realizar una autoevaluación con fundamento en información de fuentes públicas, tales como: documentos de política nacional, regional o local, o, informes y sitios web de municipios o empresas públicas de agua y saneamiento, etc. Esta autoevaluación deberá considerar planes y medidas, así como su implementación, respecto al impulso de la eficiencia energética en los procesos de tratamiento de aguas residuales (EIP Water, 2017a). En relación a ello, la puntuación del indicador 13 se fundamentó en el análisis de documentación nacional y local, así como informes disponibles en ETAPA EP, de acuerdo a la metodología recomendada por el método CBF.

Categoría V: Infraestructura

14. Separación de caudales pluviales

La recolección y el transporte de los caudales residuales, a través de redes de alcantarillado, constituyen el primer paso hacia una gestión efectiva del saneamiento en una población y son primarios en el ámbito de la GIRH. Históricamente se han desarrollado tres tipos de redes de alcantarillado: i) redes sanitarias, para la recolección exclusiva de aguas residuales de origen doméstico, comercial, industrial e institucional; ii) redes pluviales, para la evacuación de la escorrentía superficial producida por la lluvia; y, iii) redes combinadas, que conducen simultáneamente aguas residuales y aguas lluvias (López Cualla, 2003; Tchobanoglous, 1995).

El tipo de alcantarillado a implementar en una locación depende de sus características propias, entre las que se incluyen: el tamaño de la población beneficiaria, la topografía del terreno, la cobertura y usos del suelo actuales y planificados, las condiciones geológicas – geotécnicas del área, las condiciones económicas del proyecto, etc. (ETAPA EP, 2020d). Por

ejemplo, en localidades pequeñas con condiciones topográficas favorables, la proyección de un sistema sanitario, dejando correr la escorrentía pluvial por las calzadas, es una opción que permite aplazar la implementación del sistema pluvial. Por otra parte, un sistema combinado es una solución económica inicial desde el punto de vista de la recolección, pero no tanto respecto a la solución global, pues, los caudales combinados podrían complicar los procesos de las PTAR, así como causar impactos negativos en los recursos hídricos superficiales como resultado de descargas inadecuadas de las estructuras de derivación. La implementación de un sistema separado, es decir, de redes sanitarias y redes pluviales independientes, representa la situación técnica ideal (ETAPA EP, 2020d; López Cualla, 2003). En el contexto de la intensificación de los fenómenos hidrometeorológicos extremos producto del cambio climático (Molina et al., 2017), un sistema separado es también preferido ante un sistema combinado, en razón de que dichos eventos extremos podrían resultar en el desbordamiento hacia cuerpos hídricos superficiales, lo que supone una importante fuente de contaminación (EIP Water, 2017a).

En este sentido, el indicador 14 refleja la proporción de separación entre caudales sanitarios y caudales pluviales en el sistema de recolección de aguas residuales del área de estudio. Ya que la vulnerabilidad de un sistema es mayor cuando la separación de caudales es baja, el puntaje del indicador resulta menor cuando en dicho sistema predomina la infraestructura de tipo combinado (EIP Water, 2017a). El indicador 14 se calcula de acuerdo a la ecuación (13).

$$\text{Indicador}_{14} = \left(\frac{L_p + L_s}{L_c + L_p + L_s} \right) * 10 \quad (13)$$

En la ecuación (13) las variables L_c , L_p y L_s representan, respectivamente, la longitud total de redes de tipo combinado, pluvial y sanitario en el sistema de recolección de aguas residuales del área de estudio.

De acuerdo a la 'Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua', normativa vigente en el Ecuador, el saneamiento ambiental, en relación al agua, comprende únicamente al alcantarillado sanitario y al alcantarillado pluvial. Dicha ley considera a estos sistemas como independientes, sin interconexión posible, e insta a los GADM a exigir su implementación como parte de la infraestructura urbanística de las ciudades (Asamblea Nacional, 2014). No obstante, en el área de estudio, actualmente casi la totalidad del sistema de alcantarillado es de tipo combinado (ETAPA EP, 2020i). Así, para el cálculo del indicador 14 se utilizó información correspondiente a la última actualización disponible del catastro de infraestructura de alcantarillado de la empresa ETAPA EP.

15. Antigüedad promedio del sistema de alcantarillado

En relación a la antigüedad de la infraestructura de agua potable y saneamiento, es preciso, en primer lugar, introducir dos conceptos clave: vida útil y período de diseño. La vida útil hace referencia al tiempo que se espera que una obra sirva para su propósito de diseño, sin que

sea necesaria su sustitución por resultar ésta insuficiente o ineficiente, o sin tener que incurrir en gastos de operación y mantenimiento que resulten en su uso antieconómico. Dicho tiempo está determinado, principalmente, por la duración de los materiales de los componentes de la obra, pero también por la calidad constructiva, la aplicación de programas de operación y mantenimiento, las condiciones ambientales, las condiciones de instalación, entre otras. Por otra parte, el período de diseño hace referencia al intervalo de tiempo en que una obra proyectada operará con los parámetros técnicos utilizados para su dimensionamiento, cumpliendo su función satisfactoriamente. El período de diseño de una obra está vinculado a aspectos económicos y a la vida útil de la infraestructura, por lo que períodos muy grandes podrían implicar el sobredimensionamiento de sus componentes, lo cual resultaría en costos de inversión y de operación elevados que podrían afectar el balance financiero de los organismos operadores de los sistemas (CONAGUA, 2019; INEN, 1992, 1997).

En relación a la GIRH y a la planificación de proyectos de infraestructura de agua potable y saneamiento, el período de diseño debe determinarse teniendo en cuenta que éste es siempre menor a la vida útil de sus elementos, pero, considerando además, la necesidad de establecer una adecuada planificación para el mantenimiento o sustitución de ciertos elementos, antes que pensar en la ampliación, mejoramiento o sustitución de todo el sistema (CONAGUA, 2019). En relación a ello, la antigüedad de la infraestructura sanitaria en una locación es un indicador del compromiso existente, por parte de los responsables de la prestación de los servicios de agua y saneamiento (p. ej. de una empresa pública), respecto a la operación y mantenimiento oportunos de los sistemas. Dicha información podría relacionarse además con el estado financiero de los prestadores de estos servicios (EIP Water, 2017a).

En este aspecto, el indicador 15 representa la antigüedad promedio de la infraestructura de recolección de aguas residuales en el área de estudio y se calcula de acuerdo a la ecuación (14).

$$\text{Indicador}_{15} = \left(\frac{60 - \bar{A}}{60 - 10} \right) * 10 \quad (14)$$

En la ecuación (14) la variable \bar{A} es la edad promedio del sistema de alcantarillado, la cual es comparada con una edad máxima arbitraria de 60 años (EIP Water, 2017a). De acuerdo al método CBF, una antigüedad promedio menor a 10 años resulta en una puntuación máxima, pues, comúnmente, los sistemas nuevos tienen mejores condiciones de mantenimiento.

En el área de estudio, el sistema de alcantarillado actualmente en servicio ha sido construido bajo los criterios y parámetros de diseño establecidos en los macro-estudios de los años de 1969, 1985 y 2004, así como en estudios más específicos desarrollados por ETAPA EP (ETAPA EP, 2020d, 2020i). No obstante, información sistematizada en relación a la fecha de construcción de las redes de alcantarillado en el área de estudio está disponible únicamente para la infraestructura implementada desde hace menos de una década, razón por la cual, para el cálculo del indicador 15, se realizó una encuesta dirigida al personal gerencial y técnico

de mayor experiencia en la empresa ETAPA EP. Los resultados de la encuesta se muestran en la sección 6.2.

16. Fugas en los sistemas de agua

En un sistema de abastecimiento de agua potable, la presencia de fugas exige una producción y distribución mayor a la necesaria, así como a incrementar la presión en el sistema para garantizar un adecuado servicio hasta los domicilios. En este aspecto, el control y la reducción de las fugas son fundamentales para garantizar la seguridad hídrica en las ciudades, además de tener un impacto significativo en la eficiencia energética de la prestación de este servicio (Ferro & Lentini, 2015). La gestión del suministro y disponibilidad del agua potable es de gran importancia en relación a la sostenibilidad de la GIRH, por lo que, es deber de las empresas prestadoras del servicio la gestión eficaz y eficiente de la reducción de las tasas de fugas en sus sistemas (Trojan & Costa, 2015).

En los sistemas de abastecimiento de agua potable las pérdidas en las redes de distribución pueden clasificarse en: i) pérdidas aparentes, que incluyen los consumos no autorizados (fraudes y conexiones clandestinas) y todos los tipos de inexactitudes asociadas a los medidores de producción y de consumo, así como a los errores en el manejo de datos; y, ii) pérdidas reales o físicas, las cuales suceden cuando el sistema está presurizado y son contabilizadas hasta el punto del medidor del cliente, incluyendo todos los tipos de fugas, roturas de tuberías, reboses en reservas, etc. (Alegre et al., 2017). Las pérdidas pueden ser así, evitables, mismas que dependen de una operación y mantenimiento adecuados (p. ej. sustitución oportuna de redes que han cumplido su vida útil); pero, también algunas podrían considerarse inevitables como resultado de fenómenos transitorios hidráulicos en las redes (Ferro & Lentini, 2015).

En este contexto, el indicador 16 representa el porcentaje de agua potable que se pierde durante el proceso de distribución debido a las fugas, las cuales, por lo general, están vinculadas a la antigüedad y/o a un mantenimiento deficiente del sistema existente en el área de estudio (EIP Water, 2017a). El indicador 16 se calcula de acuerdo a la ecuación (15).

$$\text{Indicador}_{16} = \left(\frac{50 - F}{50} \right) * 10 \quad (15)$$

En la ecuación (15) la variable F corresponde al porcentaje de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable. El método CBF considera al 50% como el máximo referencial, por lo que valores de fugas iguales o superiores resultan en un puntaje de cero para el indicador (EIP Water, 2017a).

Desde el año de 1984 hasta el año 2000 la empresa ETAPA EP monitoreó, de manera discontinua, las pérdidas en sus sistemas de agua. No obstante, como resultado de los perjuicios económicos derivados de un porcentaje de fugas aproximado del 54%, a fines del año 2000, creó la Unidad de Control de Agua No Contabilizada (UCANC), cuyo trabajo permitió, en el año 2004, desarrollar proyecciones respecto a las pérdidas totales de los

sistemas de abastecimiento en el área de estudio (ETAPA EP, 2020a). En este aspecto, se estimó que para el año 2020 las pérdidas totales (aparentes y reales) en los sistemas de agua potable estarían en el orden del 30%, correspondiendo el 25% a pérdidas reales y el 5% restante a pérdidas aparentes (TYPESA et al., 2004). Actualmente, el Departamento de Aseguramiento de Ingresos de Agua y Saneamiento (DAIAS) es el responsable de las actividades de macro y micro medición en los sistemas de abastecimiento de agua en el área de estudio (ETAPA EP, 2019). En tal razón, para el cálculo del indicador 16 se utilizó la información disponible del DAIAS.

17. Recuperación de costos operativos

La provisión de servicios de agua y saneamiento puede conceptualizarse como un ciclo de vida que inicia con el diseño, construcción e instalación de infraestructura y con el establecimiento de un proveedor de servicios de propiedad pública, privada o mixta. Le sigue la fase de operación de los componentes, a la cual se vincula su mantenimiento. Con el paso del tiempo dicho mantenimiento representa, cada vez, un papel más importante, y, cuando la infraestructura deja de funcionar o alcanza su vida útil, ésta debe ser rehabilitada o reemplazada. Los costos asociados a cada una de estas fases se conocen como costos del ciclo de vida y se definen como los costos agregados de asegurar servicios adecuados a una población en un área determinada. Conocer el tamaño aproximado de estos costos es imperativo para poder identificar la cantidad y las fuentes de financiamiento que se requerirán anualmente con el objetivo de garantizar una prestación de servicios segura y sostenible (WHO, 2020).

En consideración de aquello y de la GIRH y su sostenibilidad, la definición de un servicio de agua potable y saneamiento exitoso puede implicar desde “*un derecho humano y un monopolio natural*” hasta “*una empresa próspera que sirve al bienestar público*” (Danilenko, Van den Berg, Macheve, & Moffitt, 2014). Las empresas de agua y saneamiento están así sujetas a prioridades en conflicto, pues es su deber brindar servicios básicos a todas y todos sus clientes a precios asequibles con un adecuado control de calidad, al mismo tiempo de garantizar su gestión financiera, efectiva y sostenible, a través de la construcción de valor económico (BID, 2020).

En este sentido, el indicador 17 es una medida de las rentas obtenidas por las empresas prestadoras de servicios de agua potable y saneamiento en el área de estudio, de acuerdo al balance de sus costos operativos (EIP Water, 2017a). Los costos operativos se definen como aquellos costos asociados con el mantenimiento y la administración de una empresa e incluyen los costos directos de los bienes vendidos, abarcando desde el alquiler, la nómina, el marketing y otros costos generales, hasta las materias primas y los gastos de mantenimiento. Los costos operativos excluyen los gastos no operativos relacionados con el financiamiento, tales como intereses o inversiones. Los costos operativos se reflejan en el estado de resultados de la empresa (Murphy & Drury, 2020).

Previo al cálculo del indicador 17, es preciso determinar la razón de recuperación de los costos operativos (φ), de acuerdo a la ecuación (16).

$$\varphi = \frac{\sum R_o}{\sum C_o} \tag{16}$$

En la ecuación (16) el numerador $\sum R_o$ corresponde a la sumatoria de los ingresos anuales por concepto de tarifas y cargos por servicios de agua potable y saneamiento, mientras que el denominador $\sum C_o$ corresponde a la sumatoria de los costos operativos anuales incurridos para la prestación de dichos servicios, ambos expresados en USD/año. Si la razón φ resulta menor a 1 significa que los costos operativos no son cubiertos al 100%, en tanto que una razón más alta significaría mayor disponibilidad de dinero para inversión (EIP Water, 2017a).

En relación a ello, la Figura 10 muestra las razones de recuperación de los costos operativos de los servicios de agua potable y saneamiento de 135 países, de acuerdo a información obtenida de la base de datos de la Red Internacional de Benchmarking para Servicios de Agua y Saneamiento (IBNET, por sus siglas en inglés), la cual recopila datos sobre el desempeño de estos servicios desde el año 1997 a nivel mundial (Banco Mundial, 2020a).

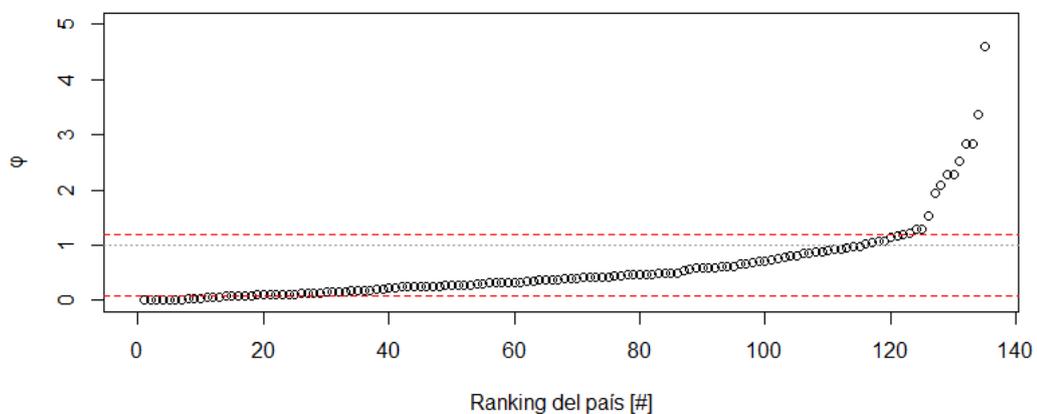


Figura 10. Razones de recuperación de costos operativos de 135 países.
 Fuente: Banco Mundial (2020)
 Elaboración propia

Así, el indicador 17 se calcula de acuerdo a la ecuación (17), misma que se fundamenta en el método mín-máx. A partir de la información actualizada de la Figura 10, el promedio de las razones inferiores al percentil 10 (línea inferior roja punteada) se toma como valor mínimo, mientras que el promedio de las razones superiores al percentil 90 (línea superior roja punteada) se toma como valor máximo. Dichos valores son 0.02 y 2.23, respectivamente (Banco Mundial, 2020a).

$$\text{Indicador}_{17} = \left(\frac{\varphi - 0.02}{2.23 - 0.02} \right) * 10 \tag{17}$$

En el nivel de apoyo de la estructura orgánica de la empresa ETAPA EP está la Subgerencia Financiera, la cual tiene como objetivo la administración, control y optimización de los recursos financieros, así como proporcionar información financiera oportuna y confiable para la toma de decisiones de conformidad con las leyes, políticas y normas técnicas vigentes

(ETAPA EP, 2019). En relación a ello, la información para el cálculo del indicador 17 se obtuvo del estado de resultados de ETAPA EP para el año 2019, el cual es de carácter público como parte del proceso de rendición de cuentas de esta empresa municipal.

Categoría VI: Robustez climática

18. Espacio azul y verde

En las ciudades, el efecto de meso-escala denominado 'isla de calor' se caracteriza por el desarrollo de temperaturas notablemente más altas en comparación con las de sus áreas circundantes, lo que tiene consecuencias significativas en la salud y el bienestar de las personas que habitan en ellas (Mohajerani, Bakaric, & Jeffrey-Bailey, 2017). Este efecto surge de la modificación de las propiedades de la superficie en un área (p. ej. reducción de la cobertura vegetal, mayor prevalencia de superficies oscuras con bajo albedo, etc.) y de la mayor producción de calor antropogénico. Este efecto conduce a una mayor absorción de radiación solar, a un enfriamiento convectivo reducido y a tasas de evapotranspiración más bajas, lo que podría llegar a incrementar la temperatura del aire en una ciudad entre 5°C y 15°C (Gunawardena, Wells, & Kershawa, 2017; Mohajerani et al., 2017).

En relación a ello, es preciso destacar que la cantidad de espacio azul (áreas dominadas por recursos hídricos superficiales) y de espacio verde (áreas dominadas por cobertura vegetal) es esencial en determinados procesos que permiten el enfriamiento de las áreas, tales como el incremento de la rugosidad para mejorar la eficiencia de la convección, así como en la evapotranspiración, ofreciendo muchos beneficios ecosistémicos sinérgicos (Gunawardena et al., 2017). Al tener en cuenta el crecimiento demográfico, la urbanización acelerada y el cambio climático, el efecto isla de calor se constituye en un problema global que amenaza el funcionamiento, la habitabilidad y la sostenibilidad de las ciudades y entornos urbanos, afectando a millones de personas alrededor del mundo, implicando, además, un mayor requerimiento energético que contribuye aún más al calentamiento del paisaje y a las consecuencias ambientales, económicas y sociales asociadas (Mohajerani et al., 2017).

En este aspecto, el indicador 18 representa la proporción de espacio azul y verde en la zona de estudio, fundamental en el combate del efecto isla de calor. El indicador 18 se calcula de acuerdo a la ecuación (18), misma que se basa en el método mín-máx, en referencia a los valores de las proporciones de espacio azul y verde de 367 ciudades europeas de acuerdo a la base de datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, por sus siglas en inglés). A partir de esta información, y, de acuerdo al método CBF, el promedio del 10% más bajo se toma como mínimo (16%) y el promedio del 10% más alto se toma como máximo (48%) (EIP Water, 2017a). Esto responde a que dicha información no está disponible para ciudades no europeas, lo que se debe tener en cuenta al momento de interpretar los resultados del indicador.

$$\text{Indicador}_{18} = \left(\frac{A_{av} - 16}{48 - 16} \right) * 10 \quad (18)$$

En la ecuación (18) la variable A_{av} corresponde al porcentaje de espacio azul y verde en la zona de estudio. Según el método CBF, mientras que el espacio azul corresponde a recursos hídricos superficiales, el espacio verde incluye: áreas urbanas verdes, áreas agrícolas, áreas semi naturales y humedales, bosques, instalaciones deportivas y de ocio, y, tejido urbano discontinuo de baja densidad como sustituto de los jardines privados.

El departamento de Avalúos y Catastros del GADM Cuenca actualiza de manera periódica la información de los equipamientos e infraestructura verde en el área de estudio. Asimismo, en el PDOT vigente, la DGPT clasificó el suelo de Cuenca en categorías de ordenación con el objetivo de establecer un uso adecuado del territorio en función de su aptitud y características inherentes (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca, 2015). Dicha clasificación permitió la delimitación del espacio azul y verde en el área de estudio. Así, para el cálculo del indicador 18 se realizó el geo-procesamiento de la información facilitada por el GADM Cuenca, disponible a escala 1:5,000.

19. Adaptación climática

Los efectos adversos producto del cambio climático afectarán, en mayor o menor proporción, a todos los habitantes del planeta. De acuerdo a la evidencia científica, el hecho de no adoptar medidas apropiadas y urgentes de mitigación y adaptación implicará que estos efectos tengan mayor severidad y frecuencia. A ello se debe añadir el hecho de que la urbanización acelerada y desordenada, condición que perturba la sostenibilidad de los sistemas económicos, naturales y sociales, exacerba la problemática. Para hacer frente a esta situación, la adaptación climática ha surgido en la agenda política global como un proceso de ajuste, llevado a cabo por las sociedades humanas, en respuesta a las condiciones actuales o esperadas del clima y sus efectos, con el objetivo de reducir su vulnerabilidad frente a ellos, así como el de incrementar la capacidad de recuperación de las condiciones de las que depende su bienestar y el de los ecosistemas en los que habitan (Molina et al., 2017).

Ya que los recursos hídricos son en el principal medio a través del cual el cambio climático influye en los ecosistemas y, por lo tanto, en los medios de vida y el bienestar de las personas, la integración de la adaptación climática con la GIRH es elemental. Una integración correcta permitiría fomentar acuerdos y prácticas de gobernanza innovadoras, teniendo en cuenta que ambos procesos comparten el mismo objetivo de promover la sostenibilidad y que requieren de elementos clave idénticos (participación pública, intercambio y divulgación de información, preocupación por la justicia social) para su implementación exitosa (Giupponi & Gain, 2017).

Además, ya que la magnitud de los efectos del cambio climático y de los daños que éstos provoquen es función del grado de adaptación de cada locación, es decir, de las capacidades de respuesta particulares desarrolladas, es imperativo que cada país o región conozca su grado de vulnerabilidad y diseñe y aplique políticas y medidas de adaptación climática

sostenibles. Entre las medidas de adaptación climática se puede incluir: el diseño e implementación de políticas de ordenamiento territorial, el desarrollo de sistemas de alerta temprana con información confiable y disponible al público, la educación ambiental, el fomento de infraestructura resiliente al clima, etc. (Molina et al., 2017).

En este contexto, el indicador 19 refleja el nivel de acción en relación a las medidas de adaptación tomadas frente a las amenazas del cambio climático en el área de estudio. Los criterios de evaluación del indicador son los mismos que para el indicador 13 (Tabla 7), los cuales otorgan una puntuación baja cuando las acciones y/o compromisos son limitados (EIP Water, 2017a).

De acuerdo al método CBF, para la puntuación del indicador 19 se debe realizar una autoevaluación de las medidas de adaptación existentes, así como de su implementación, en el ámbito de la protección de la ciudadanía frente a las inundaciones y a la escasez hídrica (p. ej. recolección de agua lluvia, planes de seguridad, etc.). Esta autoevaluación deberá fundamentarse en información de fuentes públicas, tales como: documentos de política nacional, regional o local, o, informes y sitios web de municipios o empresas públicas, etc. (EIP Water, 2017a). En relación a ello, la puntuación del indicador 19 se basó en el análisis de documentación nacional y local, así como en información disponible al público en el área de estudio.

20. Consumo de agua potable

Uno de los tres factores fundamentales que garantizan el derecho humano al agua (detalle en la sección 6.1) es su disponibilidad, factor relacionado con un servicio continuo y suficiente, tanto para usos personales como domésticos, incluyendo consumo, saneamiento personal, lavado de ropa, preparación de alimentos e higiene personal y doméstica. En este aspecto, un volumen de 100 litros por día de agua se considera como el mínimo óptimo para satisfacer todas las necesidades de consumo y de higiene de una persona (Howard & Bartram, 2003). No obstante, el uso del agua a nivel mundial se ha multiplicado por seis durante los últimos 100 años, con un incremento constante a una tasa aproximada del 1% anual. Los efectos combinados del crecimiento poblacional, del desarrollo socioeconómico, de patrones de consumo en evolución y de la expansión de las ciudades, hacen que la demanda de agua aumente significativamente, a lo que debe añadirse un suministro cada vez más errático e incierto al considerar los efectos del cambio climático (UNESCO & ONU-Agua, 2020).

Al ser la GIRH una forma de gestión adaptativa y flexible, uno de sus retos implica lograr una gestión sostenible de la demanda en lugar de, únicamente, perseguir medidas orientadas a aumentar la oferta de agua potable (Buccheri & Comellas, 2011). Por ello, los municipios y/o empresas prestadoras del servicio de agua deben, en primer lugar, desarrollar y establecer un balance hídrico con el objetivo de conocer e investigar cada componente de sus sistemas de abastecimiento de agua potable, desde la captación de agua bruta hasta el consumo por parte de sus clientes (Alegre et al., 2017). En este aspecto, la Tabla 8 muestra el formato

estándar y la terminología recomendados por la Asociación Internacional del Agua (IWA, por sus siglas en inglés) del balance hídrico de un sistema de abastecimiento de agua (Radivojević, Blagojević, & Ilić, 2020).

Tabla 8. Componentes del balance hídrico.

Volumen de entrada al sistema [m³/año]	Consumo autorizado [m³/año]	Consumo autorizado facturado [m³/año]	Consumo facturado medido (incluye agua exportada) [m³/año]	Agua facturada [m³/año]	
			Consumo facturado no medido [m³/año]		
		Consumo autorizado no facturado [m³/año]		Consumo no facturado medido [m³/año]	Agua no facturada [m³/año]
				Consumo no facturado no medido [m³/año]	
	Pérdidas de agua [m³/año]	Pérdidas aparentes [m³/año]		Consumo no autorizado [m³/año]	
				Imprecisiones en la medición [m³/año]	
		Pérdidas reales o físicas [m³/año]		Fugas en tuberías de conducción y distribución [m³/año]	
				Fugas y reboses en tanques de reserva [m³/año]	
			Fugas en acometidas hasta el punto de medida [m³/año]		

Fuente: Radivojević et al. (2020)

El indicador 20 es así una medida del consumo promedio anual de agua potable per cápita en el área de estudio. El método considera, de acuerdo a la Tabla 8, al consumo autorizado, es decir, aquel correspondiente al volumen de agua facturada y no facturada que durante el periodo de evaluación (p. ej. 1 año) es consumida por clientes registrados, por el propio proveedor del servicio y por otras personas, implícita o explícitamente también autorizadas para hacerlo por el proveedor, para usos residenciales, comerciales, industriales o públicos. Por otra parte, el método CBF no considera para el cálculo de indicador 20 las pérdidas aparentes (consumos no autorizados e imprecisiones en la medición) ni las pérdidas reales o físicas (fugas en los diferentes componentes del sistema de abastecimiento) (EIP Water, 2017a).

$$\text{Indicador}_{20} = \left(1 - \frac{W_c - 45.2}{266 - 45.2}\right) * 10 \tag{19}$$

En la ecuación (19) la variable W_c representa el consumo anual autorizado en el área de estudio dividido para su población total, expresado en m³/habitante/año. La ecuación se fundamenta en el método mín-máx, respecto a lo cual, los volúmenes mínimo y máximo corresponden a los de las ciudades europeas reportados por el método CBF (EIP Water, 2017a).

La 'Actualización del Estudio Poblacional del Área de Influencia del Proyecto de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento de la ciudad de Cuenca, II Fase', desarrollado por la empresa ETAPA EP, provee de una estimación de la población y de su distribución espacial en el cantón Cuenca hasta el año 2040 con fundamento en información del Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC) respecto a los censos nacionales de población y vivienda en el período 1950-2010 (Tapia-Sisalima & ETAPA EP, 2018). Así también, dicha empresa contabiliza los volúmenes de agua de consumo autorizado en el área de estudio en cinco categorías: residencial, comercial, industrial, construcción y especial. Por lo tanto, el cálculo del indicador 20 se fundamentó en esta información.

21. Edificios climáticamente robustos

El cambio climático, la urbanización acelerada y los cambios en los patrones de producción y consumo transforman los ecosistemas en una ciudad, incrementando también el uso de recursos no renovables y la demanda de agua y energía. De manera particular, el cambio climático afecta a los edificios y a su habitabilidad al hacerlos menos seguros frente a condiciones climáticas extremas. En este aspecto, y, ya que el sector de la construcción es esencial en la economía y en la cohesión social, la configuración de un hábitat sostenible exige el desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático acordes a la situación, así como de soluciones que potencien la resiliencia de los edificios, es decir, su capacidad de resistir diversos trastornos sin afectar su suficiencia original (Cubillos-González, Novegil-González-Anleo, & Cortés-Cely, 2017).

Esto implica que el diseño de edificios para el pasado o para el clima más probable, no es el mejor enfoque para el futuro, pues, un sistema diseñado para cumplir con un rendimiento requerido en condiciones típicas puede ser desafiado hasta su punto de falla en condiciones extremas. Tal es el caso del significativo aumento de la demanda energética durante olas de frío o calor como resultado de edificios cuyo diseño no es acorde a dichas condiciones extremas, situación que conduce, por ejemplo, a apagones o fallas regionales en la red de distribución eléctrica, poniendo en riesgo la vida de personas vulnerables. En relación a ello, la arquitectura e ingeniería actual de edificios se ha enfocado en un diseño robusto o resiliente, minimizando la vulnerabilidad de su rendimiento e incrementando su resiliencia ante la presencia de incertidumbres tales como los efectos imprevistos del cambio climático, por medio de la reducción del uso de energía o buscando lograr un balance energético cero a escala de edificio o de barrio (Moazami, Carlucci, Nik, & Geving, 2019). Así, el concepto de edificio climáticamente robusto responde al cambio climático a través de estrategias resilientes y principios de sostenibilidad que conducen, por ejemplo, al desarrollo de tecnologías para mejorar la condición de confort térmico en los espacios con una mayor eficiencia energética.

En este aspecto, el indicador 21 refleja la existencia de una política clara sobre la robustez climática de las edificaciones en el área de estudio, respecto a su contribución a los problemas complejos del cambio climático con un enfoque principal en el uso de energía. Los criterios

de evaluación del indicador son los mismos que para los indicadores 13 y 19 (Tabla 7), los cuales otorgan una puntuación baja cuando las políticas climáticas en este aspecto son limitadas (EIP Water, 2017a).

El método CBF indica que para la puntuación del indicador 21 se debe realizar una autoevaluación con fundamento en información de fuentes públicas, tales como: documentos de política nacional, regional o local, o, informes y sitios web de municipios o empresas públicas, etc. Esta autoevaluación deberá tener en cuenta las políticas vigentes respecto a la promoción de la eficiencia energética para la calefacción y refrigeración de casas y edificios (EIP Water, 2017a). Por lo tanto, la puntuación del indicador 21 se basó en el análisis de documentación nacional pública, así como en información local del GADM Cuenca.

Categoría VII: Gobernanza

22. Gestión y planes de acción

Como ya se había mencionado, si bien las ideas básicas de la GIRH datan desde hace aproximadamente un siglo, a la fecha persiste una amplia variedad de opiniones respecto a qué implica realmente (Biswas, 2004; Giordano & Tushaar, 2014; Grigg, 2019). Aunque la interpretación habitual de la GIRH la circunscribe como un conjunto de enfoques específicos, es mejor considerar a la GIRH como una herramienta desarrollada con el objetivo último de abordar la resolución pragmática de problemas complejos inherentes al sector hídrico en interacción con diferentes sistemas sociales y naturales y sus partes interesadas, estableciendo un marco coordinado de planificación y gestión con acción práctica (Grigg, 2019; Smith & Clausen, 2018).

En este contexto, el indicador 22 expresa el grado de aplicación del concepto de la GIRH en el área de estudio. Los criterios de evaluación del indicador son los mismos que para los indicadores 13, 19 y 21 (Tabla 7), los cuales otorgan una puntuación baja cuando las acciones y los planes respecto a la GIRH son limitados (EIP Water, 2017a).

De acuerdo al método CBF para la puntuación del indicador 22 se debe realizar una autoevaluación sobre los compromisos locales y regionales en relación a la infraestructura para la GIRH, con enfoque en la ambición de los planes de acción y en los compromisos actuales de las autoridades locales o empresas de servicios públicos (EIP Water, 2017a). En tal razón, y en correspondencia a la delimitación del área de estudio, la autoevaluación requerida por el método para el cálculo del indicador 22 se fundamentó en documentación nacional y regional de política respecto a la GIRH, así como en información pública de la empresa ETAPA EP y del GADM Cuenca.

23. Participación pública

La participación pública es un tema central en la gobernanza del agua de las ciudades (Mukhtarov, Dieperink, & Driessen, 2018). Ya que una GIRH eficaz debe considerar

mecanismos de planificación estratégica que reúnan a todas las partes interesadas para la toma colaborativa de decisiones (Mukhtarov et al., 2018; Smith & Clausen, 2018; Wang et al., 2019), el proceso de gobernanza participativa es primordial en la construcción de una sociedad sostenible, cuyo éxito depende de la creación de un marco administrativo e institucional en el que las personas puedan participar libremente y ser tomados en cuenta. De esta manera, la inclusión de diferentes niveles, la descentralización y la participación pública en la gobernanza impulsan un funcionamiento más eficaz de la GIRH, al permitir, con una estructura social abierta, una participación más amplia de la sociedad civil, del sector privado y de los medios de comunicación, todos apoyando e influyendo en la gestión pública del agua (Dhanya & Renoy, 2017). Empero, aunque la gobernanza participativa del agua es percibida a nivel mundial como una buena estrategia de gobernanza, asegurar la participación pública implica un gran desafío, pues la disposición de las personas a involucrarse depende, en gran medida, del medio sociocultural y de la existencia de beneficios tangibles a corto plazo (Dhanya & Renoy, 2017).

En este sentido, el indicador 23 es una medida del porcentaje de personas involucradas o que realizan trabajo voluntario no remunerado en el país del área de estudio (EIP Water, 2017a). De acuerdo al método CBF, para los países en los cuales esta información no está disponible, el porcentaje de participación pública (*PP*) puede aproximarse a partir de la ecuación (20), la cual es resultado de la aplicación de un modelo de regresión lineal a los datos correspondientes al porcentaje de involucramiento en trabajo voluntario en los países de la Unión Europea y su correspondiente índice de Estado de Derecho (*I_{ED}*) (EIP Water, 2017a).

$$PP = 0.6573 \cdot I_{ED} - 22.278 \quad (20)$$

El Estado de Derecho es un principio de gobernanza en el cual “*todas las personas, instituciones y entidades están sujetas al cumplimiento de la ley, la cual es respetuosa de los derechos humanos y se aplica de forma equitativa, justa y eficiente*” (World Justice Project, 2020a). Un Estado de Derecho eficaz reduce la corrupción, combate la pobreza y las enfermedades y protege a las personas de las injusticias, constituyéndose en la base de las comunidades para la justicia, las oportunidades y la paz (World Justice Project, 2020b). Un Estado de Derecho es indispensable en la búsqueda de la sostenibilidad, razón por la cual ha sido reconocido en la Agenda 2030 en el ODS 16. En este contexto, el índice *I_{ED}* desarrollado por el Proyecto de Justicia Mundial (WJP, por sus siglas en inglés), captura la adherencia al Estado de Derecho a través de un conjunto integral y multidimensional de indicadores, estableciéndose como una herramienta que permite identificar las fortalezas y debilidades institucionales de cada país y fomentar la toma de decisiones basada en evidencia (World Justice Project, 2020b).

El indicador 23 se calcula entonces de acuerdo a la ecuación (21), misma que se fundamenta en el método mín-máx. De acuerdo al método CBF, con el objetivo de evitar valores poco

realistas como resultado de extrapolaciones del índice I_{ED} que resulten en PP negativos, el valor mínimo PP de referencia se fija en 5% (EIP Water, 2017a).

$$\text{Indicador}_{23} = \left(\frac{PP - 5}{53 - 5} \right) * 10 \quad (21)$$

En razón de que no se dispone de información respecto al porcentaje de participación pública a nivel nacional, regional o local, para el cálculo del indicador 23 se aplicó la metodología recomendada por el CBF con fundamento en el Índice de Estado de Derecho (EIP Water, 2017a). En relación a ello, el proyecto ‘Indicadores Mundiales de Gobernanza’ del Banco Mundial, ha reportado indicadores de gobernanza agregados e individuales para más de 200 países y territorios en el período 1996-2019, incluyendo los resultados del índice I_{ED} para Ecuador obtenidos por varias fuentes (Banco Mundial, 2020c). Por otro lado, el último reporte disponible del WJP en relación al índice I_{ED} incluye sus resultados para el año 2020 (World Justice Project, 2020b).

24. Medidas de eficiencia hídrica

Reducir el consumo de agua tiene sentido en las tres dimensiones de la sostenibilidad: i) comercial, al permitir ahorrar dinero y mejorar la imagen de las empresas prestadoras del servicio; ii) social, al garantizar la seguridad hídrica de las personas; y, iii) medioambiental, al ayudar en la conservación de los recursos naturales. En este contexto, la eficiencia hídrica se constituye en una herramienta fundamental de la GIRH y de su sostenibilidad, hecho reconocido en la Agenda 2030 a través del ODS 6 y sus metas 6.4 y 6.5. Así, junto con el control y la reducción de fugas en los sistemas de distribución, el incremento de la eficiencia en el uso del agua (p. ej. en los sectores industrial y municipal/doméstico), al reducir la demanda general, permitiría garantizar la seguridad hídrica de las ciudades y maximizar los beneficios proporcionados por la infraestructura existente (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019). Adicionalmente, al reducir la demanda energética de los procesos de tratamiento y transporte del agua y de las aguas residuales, las medidas de eficiencia hídrica contribuyen en la mitigación del cambio climático y significan sistemas de suministro de agua y saneamiento más rentables (UNESCO & ONU-Agua, 2020).

Mejorar la eficiencia en el uso del agua se traduce en aumentar su productividad, reduciendo la intensidad de su uso, mejorando las asignaciones entre usos y perfeccionando la eficiencia técnica y de gestión en la prestación del servicio (UNEP, 2014). En relación a ello, en el sector doméstico, instrumentos económicos y no económicos se utilizan, de diferentes maneras y con resultados variables, con el objetivo de reducir el consumo per cápita de agua. Si bien el incremento de tarifas podría parecer la medida más directa para promover múltiples objetivos además de la eficiencia hídrica (p. ej. incrementar los ingresos netos de la empresa prestadora del servicio), es también controversial por sus impactos socioeconómicos y es la menos preferida de la gente. No obstante, ya que el consumo doméstico depende de numerosas variables, entre ellas las características socioculturales y de comportamiento de la población, las medidas de eficiencia hídrica incluyen también estrategias que implican la

incorporación de impulsos conductuales para mejorar la sensibilización de las y los consumidores respecto al uso del agua, abarcando campañas de educación y conciencia pública, así como campañas para promover el uso de tecnologías de mayor eficiencia hídrica (p. ej. electrodomésticos y aparatos sanitarios más eficientes). Finalmente, la normativa municipal para promover un uso más eficiente del agua en edificaciones nuevas o renovadas, para que, por ejemplo, éstas sean obligadas a instalar reguladores o reductores de flujo e inodoros de doble descarga, es otra iniciativa de aplicación común (Tortajada, González-Gómez, Biswas, & Buurman, 2019).

En este aspecto, el indicador 24 refleja el grado de aplicación de medidas de eficiencia hídrica por parte del abanico de usuarios y usuarias del agua en el área de estudio, entre las que se incluyen: medidas de ahorro de agua en grifos, inodoros, duchas y baños, diseños eficientes o cambios de comportamiento (EIP Water, 2017a). Los criterios de evaluación del indicador son los mismos que para los indicadores 13, 19, 21 y 22 (Tabla 7), los cuales otorgan una puntuación baja cuando las medidas de eficiencia son limitadas (EIP Water, 2017a). Así, para su puntuación se debe realizar una autoevaluación con fundamento en información de fuentes públicas, tales como: documentos de política nacional, regional o local, o, informes y sitios web de municipios o empresas públicas de agua y saneamiento, etc. Esta autoevaluación consideró los planes y medidas, así como su implementación, respecto a la eficiencia del uso del agua, impulsados tanto por el gobierno central como a nivel local.

25. Atractivo

La calidad y la disponibilidad de los recursos hídricos son esenciales en el atractivo de un destino, pues el agua es un elemento clave en la experiencia vacacional de las personas (Ramazanova, 2019). Una gran proporción de destinos turísticos se concentra en o cerca de zonas con abundancia de recursos hídricos. Por ejemplo, ciudades europeas como Venecia, Hamburgo y Ámsterdam tienen en el agua una característica dominante que se constituye en un factor de gran importancia en la atracción de turistas (EIP Water, 2017a). No obstante, los impactos negativos en el sector hídrico-turístico reducen la visión general y la viabilidad de un destino, disminuyendo además el deseo de las y los turistas de volver a visitarlo, por lo que conocer el comportamiento, así como las percepciones y niveles de satisfacción de las personas en relación a los recursos hídricos es primordial (Ramazanova, 2019). En tal razón, la compleja interrelación existente entre el turismo y el agua demanda de una GIRH eficiente, que mantenga su calidad y disponibilidad, aspectos cruciales para la sostenibilidad de los destinos.

Por otro lado, se conoce que la interacción con el 'espacio azul' (fuentes de agua en forma de ríos, lagos, estanques, océanos) puede mejorar la salud física y mental de una persona. Investigación emergente indica que existirían tres formas en las cuales el espacio azul puede beneficiar a la salud: i) al proporcionar relajación a través de exposición visual; ii) al promover la participación en actividades físicas; y, iii) al promover conexiones sociales (Hart, 2019). Los seres humanos somos atraídos por las fuentes de agua debido a propiedades específicas

que incluyen sonido, color, claridad, calidad, movimiento, paisaje, perspectiva, etc., razón por la cual los paisajes con espacio azul son altamente deseados por las personas (Hart, 2019). En relación a ello, a menudo, los precios de las propiedades en los alrededores de ríos, canales y puertos son mucho más elevados que en otras partes de una ciudad donde la presencia del agua no es tan dominante (EIP Water, 2017a).

En este contexto, el indicador 25 es una medida de cómo las características de los recursos hídricos superficiales del área de estudio estarían contribuyendo a su atractivo, así como al bienestar de sus habitantes. De acuerdo al método CBF, para su puntuación es preciso realizar una autoevaluación en relación a cómo dichos recursos favorecerían la calidad del paisaje de acuerdo a la percepción y el bienestar comunitario. Cuando el rol del agua como factor dominante en el bienestar de las personas en el área de estudio sea evidente, se proporcionará un puntaje máximo (EIP Water, 2017a). La autoevaluación se fundamentó en información de fuentes públicas (documentos regionales y locales), informes, artículos de investigación, y, documentos respecto al turismo relacionado con el agua y al sentimiento de bienestar en el área de estudio.

3. Resultados y Discusión

3.1 Categoría I: Calidad del agua

1. Tratamiento secundario de aguas residuales

En la Figura 11 se muestra el catastro de redes de alcantarillado de ETAPA EP, así como la ubicación y el área de cobertura de la PTAR de Ucubamba, principal instalación para el tratamiento de los caudales residuales generados en el cantón Cuenca. La estratégica ubicación de esta PTAR, en la zona baja de las cuencas hidrográficas de los ríos Tomebamba y Machángara, al centro-este del área de estudio, deriva en el hecho de que su área de cobertura aproximada sea de 29775 ha. En la Figura 11 se muestran además las ubicaciones de las PTAR que dan servicio a comunidades rurales dispersas, cuya operación y mantenimiento está dentro del ámbito de competencias de ETAPA EP, y, que como se puede observar, se sitúan fuera del área de estudio.

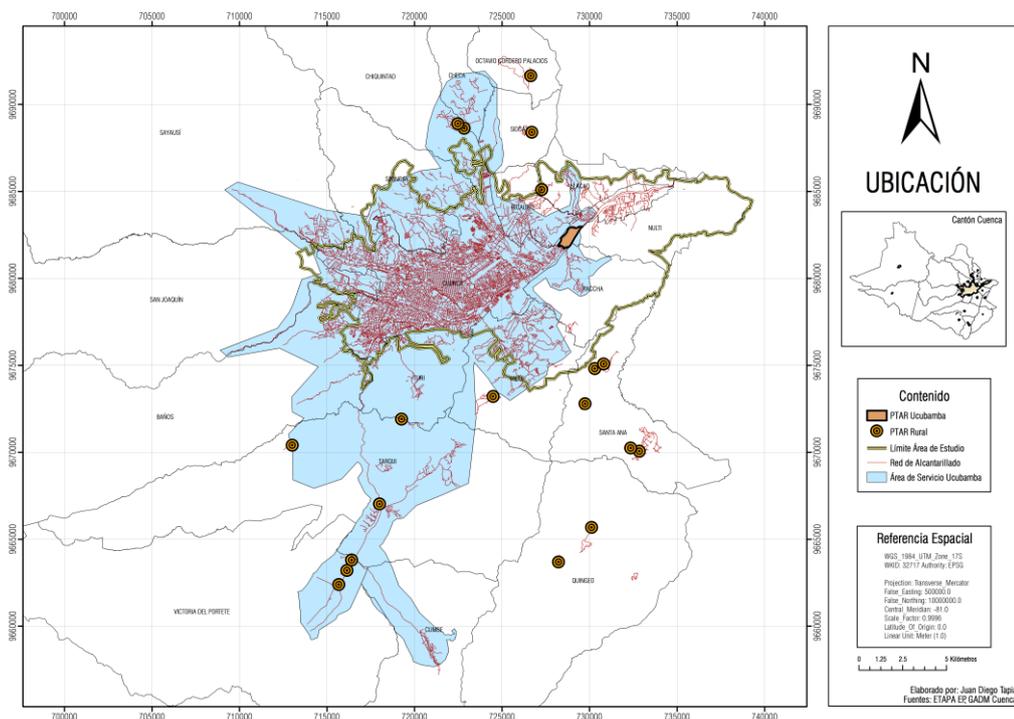


Figura 11. Área de cobertura de la PTAR de Ucubamba.

Fuente: ETAPA EP (2020d)

Elaboración propia

Por otra parte, según ETAPA EP (2020b), en el área de estudio existen 150,629 conexiones de agua potable (corte al mes de junio del año 2020). Como resultado de condiciones técnicas y/o económicas-financieras, no todas las personas que tienen el servicio público de agua potable, disponen de alcantarillado y de una respectiva conexión hasta una PTAR. Asimismo, en Cuenca existen zonas que, si bien disponen del servicio de alcantarillado, no tienen cobertura de la PTAR de Ucubamba debido ya sea, a su ubicación aguas abajo de ésta, o, a condiciones topográficas que no lo permiten. Es el caso del sector urbano Challuabamba y

de sectores rurales de las parroquias El Valle, Llaqueo, Nulti, Paccha y Ricaurte, tal como se muestra en la Figura 12.

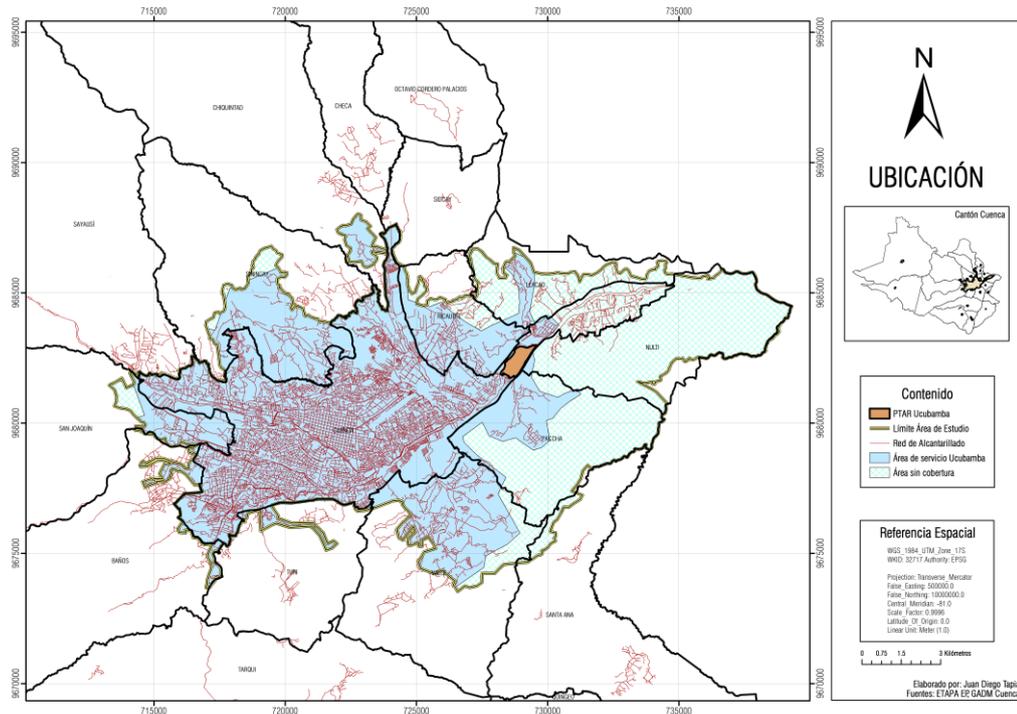


Figura 12. Cobertura de la PTAR de Ucubamba en el área de estudio.

Fuente: ETAPA EP (2020d)
Elaboración propia

En el contexto descrito, al realizar el geo-procesamiento respectivo con el catastro de usuarios de ETAPA EP, el número resultante de conexiones de agua potable que están dentro del área de servicio de la PTAR de Ucubamba ascendió a 143,012. Considerando además que, de acuerdo a ETAPA EP (2020b), la cobertura del servicio de alcantarillado en el área de estudio es aproximadamente del 95.25%, la proporción de usuarios en el área de estudio que dispone de conexión a una PTAR de nivel secundario se calculó como se muestra en la ecuación (22).

$$\text{Indicador}_1 = \left(\frac{((143012 * 0.95) / 150629) \cdot 100}{10} \right) = 9.04 \quad (22)$$

En consideración de lo expuesto, el indicador 1 resultó igual a 9.04.

2. Tratamiento terciario de aguas residuales

En el área de estudio, la PTAR de Ucubamba tiene un nivel de tratamiento de tipo terciario, razón por la cual, el indicador 2 es también igual a 9.04. No obstante, si bien la cobertura de saneamiento en el área de estudio es alta, es necesario mencionar que, de acuerdo a estimaciones realizadas por la propia empresa ETAPA EP, la PTAR de Ucubamba alcanzaría su máxima capacidad operativa luego del año 2020.

En relación a ello, y con el objetivo de alcanzar la máxima cobertura de saneamiento posible, ETAPA EP ha proyectado una nueva PTAR al noreste del área de estudio, en el sector de Guangarcucho. En la Figura 13 se muestra su ubicación futura, así como aquellas conexiones

de agua potable que se abastecen desde los sistemas de ETAPA EP, y, que actualmente no disponen de una conexión hacia una PTAR en el área de estudio.

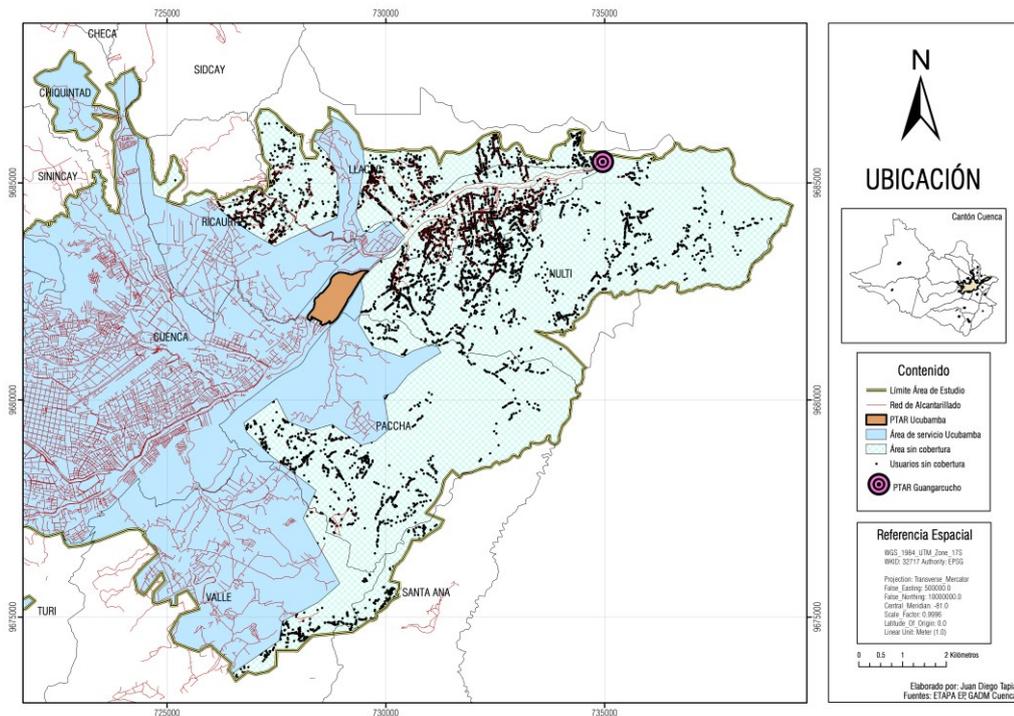


Figura 13. Ubicación de la PTAR proyectada de Guangarcucho.

Fuente: ETAPA EP (2020d)

Elaboración propia

Con la implementación de la PTAR de Guangarcucho, además de tratar el exceso de caudal que no podrá ser procesado por la PTAR de Ucubamba, se podrá cubrir una buena parte del déficit de cobertura de saneamiento actual en el área de estudio. Se debe considerar que, entre estas dos instalaciones, ya se encuentran construidos y en 'operación' los interceptores sanitarios para su interconexión y para recolectar los caudales residuales generados aguas abajo de la PTAR de Ucubamba. En este contexto, teniendo en cuenta que el año horizonte del proyecto es el 2050, de acuerdo a los diseños definitivos de la PTAR de Guangarcucho, las poblaciones y caudales a beneficiarse se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Población y caudales proyectados para las principales PTAR en Cuenca.

Año	Población Proyectada	Dotación Neta Media	Caudal Residual	PTAR de Ucubamba	PTAR de Guangarcucho
	[hab]	[l/hab/día]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]
2010	428000	275	1.493	1.493	-
2015	470000	269	1.602	1.602	-
2020	535000	263	1.781	0.581	1.200
2025	607000	253	1.949	0.749	1.200
2030	686000	247	2.149	1.600	0.549
2035	773000	241	2.361	1.800	0.561
2040	867000	232	2.548	1.800	0.748
2045	968000	226	2.770	1.800	0.970
2050	1077000	220	2.999	1.800	1.199

Fuente: Greeley & Hansen et al. (2017)

Es importante mencionar además que, de acuerdo a la planificación de ETAPA EP, una vez que la PTAR de Guangarcucho empiece a operar, la PTAR de Ucubamba se sometería a un proceso de retiro masivo de materiales sedimentados en su línea de tratamiento, el cual podría extenderse por varios años. Este particular resultó de interés en la discusión de ciertos indicadores de la categoría IV.

3. Calidad del agua subterránea

El proyecto de actualización del mapa hidrogeológico del Ecuador realizado por la ESPOL-TECH EP (2014), clasificó a los sistemas acuíferos en función del nivel de información relevante disponible, según los criterios de la Tabla 10. Los sistemas con una puntuación igual o mayor a 7 se consideraron como acuíferos verificados, y, aquellos con puntuaciones menores, se consideraron como potenciales. En el cantón Cuenca, el proyecto determinó la existencia de un sistema acuífero potencial con una extensión aproximada de 250 km², el cual obtuvo un puntaje de 6 sobre 12, del cual se destaca su permeabilidad media – alta.

Tabla 10. Criterios de puntuación para la definición de sistemas acuíferos verificados en Ecuador.

Caudal		Nivel Estático		Profundidad de pozo		Permeabilidad	
[l/s]	Puntaje	[m]	Puntaje	[m]	Puntaje	Tipo	Puntaje
Sin datos	0	0% – 10%	0	Sin datos	0	Baja	0
< 5	1	11% – 30%	1	< 10	1	Baja – Media	1
5 – 15	2	31% – 50%	2	10 – 30	2	Media – Alta	2
> 15	3	>50%	3	> 30	3	Muy Alta	3

Fuente: ESPOL-TECH EP (2014)
Elaboración propia

El proyecto obtuvo además mapas temáticos de medidas *in situ* sobre a la calidad del agua de los pozos estudiados, incluyendo parámetros tales como: conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH y temperatura. En el cantón Cuenca y sus alrededores, dentro del límite administrativo de la provincia del Azuay, se identificaron 21 pozos con información al respecto, con el detalle que se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Parámetros de calidad del agua de pozos en la provincia del Azuay según el mapa hidrogeológico del Ecuador.

Conductividad [µS/cm]		Oxígeno Disuelto [mg/l]		pH		Temperatura [°C]	
Rango	# Pozos	Rango	# Pozos	Rango	# Pozos	Rango	# Pozos
< 500	15	0.1 - 5	9	1 - 4	1	0 - 20	13
501 - 1000	5	6 - 10	12	5 - 6	1	21 - 30	8
1001 - 2000	1	11 - 15	-	7 - 9	19	31 - 40	-
> 2000	-	-	-	10 - 11	-	41 - 50	-

Fuente: ESPOL-TECH EP (2014)
Elaboración propia

Por otra parte, la unidad hidrogeológica Cañar – Cuenca – Girón de la Figura 14, con una superficie aproximada de 6,300 km², ocupa mayoritariamente los territorios de las provincias de Cañar y Azuay y abarca el área de estudio. De acuerdo al análisis de datos del inventario de puntos de agua realizado por Burbano et al. (2015), esta unidad hidrogeológica presenta los parámetros de calidad que se muestran en la Tabla 12.

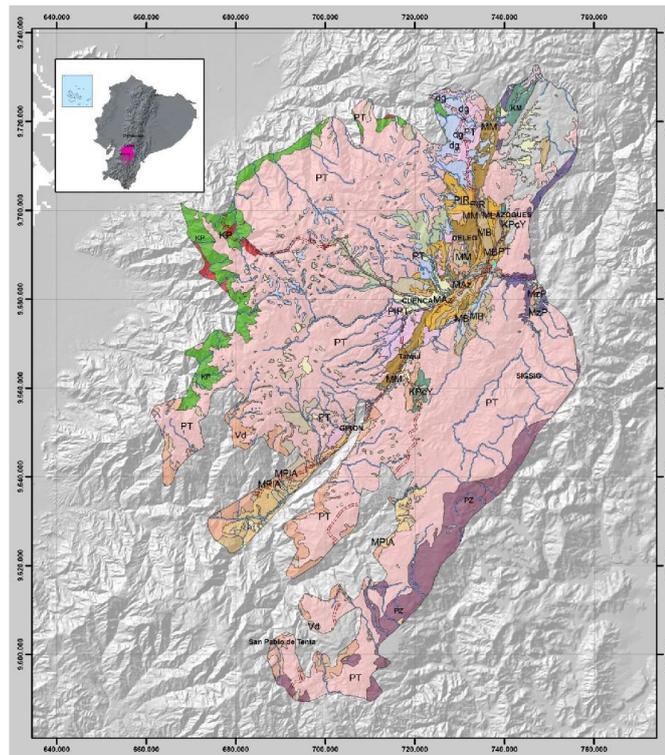


Figura 14. Ubicación de la unidad hidrogeológica Cañar – Cuenca – Girón.
 Fuente: Burbano et al. (2015)

Tabla 12. Parámetros de calidad del agua subterránea de la unidad hidrogeológica Cañar – Cuenca – Girón.

Valor	Nivel Estático	Conductividad	pH	Temperatura
	[m]	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	[-]	[$^{\circ}\text{C}$]
Máximo	13.4	1010.0	5.5	18.4
Medio	5.5	595.6	5.5	14.8
Mínimo	0.0	95.0	5.5	11.0

Fuente: Burbano et al. (2015)
 Elaboración propia

Como se había mencionado, no existen estudios hidrogeológicos a detalle a nivel local. No obstante, de la información recopilada se identificaron tres parámetros para la aproximación de la calidad del agua subterránea a nivel regional: conductividad, oxígeno disuelto y pH. La conductividad puede utilizarse como una medida de la calidad relativa del agua, pues, por ejemplo, mientras el agua potable presenta valores de conductividad en el rango 50 – 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el agua contaminada puede llegar a tener a valores de 10,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por su parte, un alto nivel de oxígeno en el agua potable significa una mejor calidad organoléptica; sin embargo, niveles excesivos pueden incrementar la velocidad de corrosión de las tuberías en los sistemas de distribución. Finalmente, el pH es también un indicador de la calidad del agua, al alertar sobre su grado de acidez o alcalinidad.

En relación a ello, en Ecuador, según el Ministerio del Ambiente (2015), los criterios de calidad para el agua cruda destinada al consumo humano y uso doméstico, superficial o subterránea, y, que únicamente requiera tratamiento convencional, establecen como límite para el oxígeno disuelto un valor no menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l. Para el pH el límite permisible está en el rango 6 – 8. Por su parte, según la normativa, una conductividad

mayor a 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ podría representar un potencial problema de salinidad para la calidad del agua para riego, sin límite permisible establecido para el agua destinada al consumo humano.

De acuerdo al proyecto realizado por la ESPOL-TECH EP (2014), a nivel nacional, los valores de conductividad eléctrica del agua subterránea están por debajo de los 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el pH está en un rango entre 5 y 9, y, los valores de oxígeno disuelto están por debajo de los 10 mg/l. No obstante, un análisis de calidad de agua de los sistemas acuíferos no fue realizado en razón de que se necesitaría de mayor información de mejor calidad para tal efecto. Si bien los parámetros de calidad del sistema acuífero identificado en la región del área de estudio presentan valores similares a los promedios nacionales, es necesario recalcar que dicho sistema acuífero fue clasificado como potencial, destacando la importancia de que éste sea estudiado a mayor profundidad con el objetivo de generar información adicional para modelar su comportamiento, así como sus características de calidad.

Con estos antecedentes, para aproximar la calidad del agua subterránea en el área de estudio se utilizó el índice de calidad del agua (ICA) propuesto por Montoya, Contreras, & García (1997), de acuerdo a la ecuación (23). Este índice es un método aditivo que considera hasta 18 parámetros, con ecuaciones y pesos relativos particulares, para definir la aptitud de un recurso hídrico respecto a sus potenciales usos prioritarios, incluyendo el abastecimiento.

$$\text{Indicador}_3 = \text{ICA}/10 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right) / 10 \quad (23)$$

En la ecuación (23) la variable I_i representa el resultado de la ecuación subíndice del parámetro i -ésimo, la variable W_i representa el factor de ponderación del parámetro i -ésimo, y, la variable n representa el número de variables consideradas. El modelo de cálculo permite, al no disponer información, considerar un coeficiente de ponderación nulo para el parámetro que así lo requiera. El método, las ecuaciones subíndices y los coeficientes de ponderación se detallan en Fernández & Solano (2005).

Luego de calcular el índice ICA con la información disponible respecto a los valores medios de los tres parámetros identificados en la unidad hidrogeológica existente en la región del área de estudio, el indicador 3 resultó igual a 4.83, tal como se muestra en la ecuación (24).

$$\text{Indicador}_3 = \left(\frac{(47.94 \cdot 1 + 47.42 \cdot 5 + 53.00 \cdot 1)}{1 + 5 + 1} \right) / 10 = 4.83 \quad (24)$$

Es importante mencionar que, en adición a la información a nivel nacional, estudios como los realizados por Palma & Villagómez (2012) y Guzmán, Batelaan, Huysmans, & Wyseure (2015), infieren, al suroeste del área de estudio, en la parte baja de la sub-cuenca del río Tarqui, la existencia de un acuífero aluvial, el cual tendría relevancia en la capacidad del almacenamiento de la sub-cuenca y en el mantenimiento del caudal base del río. Si bien dicho acuífero debe aún ser investigado a profundidad, la planificación de ETAPA EP consideraría esta fuente subterránea para el abastecimiento de agua potable en caso de afrontar escasez hídrica en el futuro.

3.2 Categoría II: Tratamiento de desechos sólidos

4. Desechos sólidos recolectados

En el área consolidada, tanto los desechos sólidos, como los materiales reciclables generados en los domicilios, son recogidos por las unidades de recolección de la EMAC EP, de manera diferenciada y con una frecuencia trisemanal. En el caso de las parroquias rurales, el servicio de recolección domiciliaria tiene una frecuencia bisemanal y se hace efectivo a través de un servicio contratado. La EMAC EP se encarga también de la recolección de los desechos sólidos generados por industrias, mercados y generadores especiales (producción mayor a 1 tonelada/mes). En este contexto, de acuerdo a la información disponible en el Departamento de Aseo, Recolección y Reciclaje de la EMAC EP, los desechos sólidos recolectados en el cantón Cuenca, en el período 2015 – 2019, presentan el detalle de la Tabla 13.

Tabla 13. Desechos sólidos recolectados por la EMAC EP en el cantón Cuenca – período 2015-2019.

Año	Fuente/Tipo de Desechos					Total	Promedio diario	Promedio diario de 6 días consecutivos
	Particulares, Convenios y Generadores Especiales	Mercados	Industrias	Biopeligrosos Esterilizados	Domiciliarios			
	[t/año]	[t/año]	[t/año]	[t/año]	[t/año]			
2015	29182	16309	7226	700	101491	154907	430	487
2016	15564	15099	7592	636	104058	142950	397	458
2017	17905	15673	7565	712	109213	151067	420	483
2018	20587	16555	8779	798	112740	159460	443	517
2019	21481	16898	8040	1021	115123	162562	452	522

Fuente: EMAC EP (2020a)
Elaboración propia

Por otra parte, según la EMAC EP (2020a), en el área 'consolidada' de servicio, la cual abarca el área urbana e incluye a centros urbanos parroquiales y áreas rurales en el entorno de la ciudad de Cuenca, la cobertura de recolección de desechos sólidos es del 100%. Mientras tanto, en el área rural esta cobertura ha sido variable en el período 2015 – 2019, llegando a un promedio del 78.3% en estos cinco años. En la Tabla 14 se muestra el detalle de dichas coberturas, así como las tasas de generación per cápita de desechos sólidos municipales, de acuerdo a los cálculos realizados por la EMAC EP (2020a), tanto para el área consolidada como para el área rural de servicio.

Tabla 14. Coberturas de recolección y tasas de generación per cápita de desechos sólidos en el cantón Cuenca – período 2015-2019.

Año	Área Consolidada		Área Rural		Área Total	
	Cobertura	Generación	Cobertura	Generación	Cobertura	Recolección
	[%]	[kg/hab/día]	[%]	[kg/hab/día]	[%]	[t/año]
2015	100	0.566	73.7	0.398	92.0	101491
2016	100	0.553	78.8	0.408	93.2	104058
2017	100	0.563	82.3	0.415	94.0	109213
2018	100	0.572	80.1	0.423	93.4	112740
2019	100	0.557	76.6	0.437	94.4	115123

Fuente: EMAC EP (2020a)
Elaboración propia

Debido a la correspondencia existente entre el área de estudio y el área consolidada de servicio de la EMAC EP, y, teniendo en cuenta que la cobertura de recolección en esta última es del 100%, la tasa de recolección de desechos sólidos para el cálculo del indicador 4 se tomó igual a 0.557 kg/hab/día o 203.3 kg/hab/año. Por lo tanto, como se muestra en la ecuación (25) el indicador 4 resultó igual a 9.62.

$$\text{Indicador}_4 = \left(1 - \frac{203.3 - 165.4}{1155.4 - 165.4}\right) * 10 = 9.62 \quad (25)$$

Es preciso resaltar el hecho de que, en el área de estudio, las tasas de recolección son iguales a las tasas de generación como resultado de la cobertura de recolección igual al 100%. En relación a ello, para el año 2019, la tasa de generación per cápita de desechos sólidos de Cuenca es, aproximadamente, un 40% menor al promedio nacional. De igual manera, esta tasa de generación local pertenece al percentil 10 más bajo de todas las tasas de generación de desechos sólidos domiciliarios reportadas por los países de América Latina y El Caribe según la última base de datos disponible.

5. Desechos sólidos reciclados

Tal como se había mencionado, la empresa EMAC EP es la responsable de la GIRS en el área de estudio. El reciclaje de los desechos sólidos recolectados es una de las actividades funcionales de dicha gestión, y se ejecuta a través de un sistema inclusivo fundamentado en una Ordenanza Municipal.

Por lo tanto, en el cantón Cuenca, la ciudadanía está obligada a almacenar, de manera diferenciada (en fundas de color celeste), los desechos sólidos reciclables inorgánicos, los cuales son recolectados por las unidades de la EMAC EP con una frecuencia semanal. No obstante, es importante hacer mención a la existencia de un gran número de personas (en su gran mayoría mujeres) que, sin tener relación de dependencia con la EMAC EP, recolectan manualmente los desechos de las fundas de color celeste para venderlos en centros de acopio. Además, desde el año 2018, la EMAC EP ha implementado el programa denominado 'Punto Limpio', por medio del cual, en reemplazo de las 'donaciones' de materiales reciclables, la ciudadanía tiene a su disposición un contenedor adecuado para el depósito directo de dichos materiales, el cual sirve también para el acopio de chatarra electrónica.

Tabla 15. Desechos sólidos inorgánicos recuperados por la EMAC EP – período 2015-2019.

Año	Funda Celeste	Reciclaje Particular	Punto Limpio	Donaciones	TOTAL
	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
2015	987.48	0.00	0.00	229.05	1216.53
2016	742.41	328.70	0.00	158.60	1229.71
2017	503.05	835.86	0.00	33.20	1372.11
2018	432.27	1642.57	8.49	0.21	2083.54
2019	387.71	970.30	131.80	0.00	1489.81

Fuente: EMAC EP (2020a)
Elaboración propia

En este contexto, en la Tabla 15 se muestra, para el período 2015 – 2019, el detalle, en peso, de los desechos inorgánicos recuperados por la EMAC EP de las fundas de color celeste y a través del contenedor 'Punto Limpio', así como los pesos proyectados a partir de los datos reportados por las y los recicladores independientes (reciclaje particular).

Los desechos inorgánicos reciclables de la Tabla 15 corresponden a: cartón, chatarra, papel, plástico suave, plástico duro y vidrio. No obstante, de acuerdo a la EMAC EP (2020a), un estudio de caracterización realizado en el año 2017 determinó que, únicamente el 24.34% de los materiales recolectados en las fundas de color celeste, es aprovechable. En este aspecto, los pesos de los desechos sólidos efectivamente reciclados se muestran en la Tabla 16, la cual incluye su proporción en relación a los desechos sólidos domiciliarios recolectados en el área de servicio de la EMAC EP.

Tabla 16. Desechos sólidos reciclados por la EMAC EP – período 2015-2019.

Año	Desechos sólidos recolectados	Desechos sólidos reciclados	Desechos sólidos reciclados
	[t]	[t]	[%]
2015	101491.36	469.40	0.46%
2016	104058.38	668.00	0.64%
2017	109212.90	991.50	0.91%
2018	112740.10	1756.48	1.56%
2019	115122.57	1196.47	1.04%

Fuente: EMAC EP (2020a)
Elaboración propia

Por otro lado, respecto a los desechos sólidos orgánicos aprovechables, de acuerdo a la EMAC EP (2018), estos desechos provienen principalmente de los mercados del área de estudio, así como de generadores particulares, y, son procesados en una planta de compostaje para la producción de abono orgánico (compost y humus) destinado a las áreas verdes de la ciudad y para el uso de particulares. En la Tabla 17 se muestra, para el período 2015 – 2019, el detalle, en peso, del total de desechos orgánicos recuperados por la EMAC EP para la producción de compost y humus, así como su proporción en relación a la sumatoria de los desechos sólidos domiciliarios recolectados más los desechos de los mercados.

Tabla 17. Desechos sólidos orgánicos recuperados para la producción de abono orgánico por la EMAC EP – período 2015-2019.

Año	Desechos Domiciliarios + Mercados	Desechos orgánicos recuperados	Desechos orgánicos recuperados
	[t]	[t]	[%]
2015	117799.91	2618.18	2.22%
2016	119157.82	4950.03	4.15%
2017	124885.47	5678.48	4.55%
2018	129295.13	5081.68	3.93%
2019	132020.42	8327.44	6.31%

Fuente: EMAC EP (2020a)
Elaboración propia

En el contexto descrito, para el cálculo del indicador 5 se tomaron los porcentajes de desechos sólidos reciclados y de desechos orgánicos recuperados para la producción de compost y

humus, reportados por la EMAC EP para el año 2019. Como se muestra en la ecuación (26) el indicador 5 resultó igual a 0.74, lo que indica que los desechos sólidos reciclados representan una ínfima proporción del total de desechos domiciliarios recolectados.

$$\text{Indicador}_5 = \left(\frac{(1.04 + 6.31)}{100 - 0} \right) * 10 = 0.74 \quad (26)$$

Es importante resaltar que, a pesar de que en el área de estudio se realiza una recolección diferenciada que promueve el reciclaje de desechos inorgánicos, únicamente el 24.34% de los materiales de las fundas de color celeste es efectivamente aprovechable. A esta situación debe sumarse el hecho de que, según la EMAC EP (2020a), el 24.29% de los desechos domiciliarios recolectados (excluyendo los de las fundas de color celeste), corresponderían a materiales inorgánicos potencialmente reciclables. Esto evidencia que la ciudadanía en el área de estudio no realiza una correcta separación en la fuente. Por otro lado, respecto a los desechos orgánicos domiciliarios, de acuerdo a la EMAC EP (2020a), un 64.39% sería aprovechable para la producción de compost y humus, por lo que existiría un alto potencial de reciclaje de materiales orgánicos que no ha sido explotado.

Tabla 18. Pilas usadas recolectadas por ETAPA EP – período 2004-2019.

Año	Pilas Usadas Recolectadas	
	[kg]	[t]
2004	4134	4.1
2005	2400	2.4
2006	2700	2.7
2007	2800	2.8
2008	2420	2.4
2009	4576	4.6
2010	5385	5.4
2011	4817	4.8
2012	4642	4.6
2013	4650	4.7
2014	4790	4.8
2015	4261	4.3
2016	6012	6.0
2017	4020	4.0
2018	5137	5.1
2019	4399	4.4

Fuente: ETAPA EP (2020b)
Elaboración propia

Por último, es necesario hacer mención al programa de recolección y disposición de pilas usadas, el cual, impulsado por la empresa ETAPA EP, tiene el objetivo de contribuir en el ámbito de la disminución de la contaminación del agua y del suelo en el área de estudio. Su implementación, desde el año 2004, ha sido de especial interés para ETAPA EP debido al potencial peligro que representan estos materiales para el normal funcionamiento de la PTAR de Ucubamba, pues, los lixiviados del relleno sanitario de la EMAC EP son tratados en dicha instalación. De acuerdo a ETAPA EP (2020f), luego de la recolección, clasificación y

tratamiento adecuado, estos materiales son 'reciclados', al convertirse en materia prima para la construcción de esculturas y monumentos ecológicos. En la Tabla 18 se muestra el detalle de los pesos de las pilas usadas recolectadas por ETAPA EP. El promedio de recolección en el período 2004-2019 asciende a 4.2 t/año, y, aunque pueda parecer un valor mínimo respecto al total de desechos sólidos domiciliarios recolectados en el área de estudio, el programa de ETAPA EP, en el marco de la GIRH, es destacable debido al potencial contaminante de estos materiales. Empero, de acuerdo al método CBF, el indicador 5 no considera este aporte para su valoración.

6. Energía recuperada de los desechos sólidos

Tal como se indicó previamente, la GIRS en el área de estudio, a cargo de la EMAC EP, no considera la aplicación de tecnologías de valorización energética de los desechos sólidos recolectados. En tal razón, el indicador 6 es igual a 0.

Para el procesamiento de los desechos sólidos recolectados, la EMAC EP dispone, desde el año 2001, del 'Complejo de Desarrollo Humano y Ambiental Pichacay', ubicado a aproximadamente 21 kilómetros de la ciudad de Cuenca. Uno de los componentes principales del Complejo de Pichacay es el relleno sanitario, el cual, de acuerdo a una caracterización realizada en el año 2007, disponía de una cantidad de biogás con la capacidad suficiente para la generación de 1 MW de potencia en un primer año de operación de una planta generadora, sumando 1 MW adicional al tercer año. En este aspecto, de acuerdo a la EMAC EP (2018), en el año 2012 se conformó la empresa público-privada 'EMAC-BGP ENERGY CEM' con el propósito aprovechar el metano del biogás que se produce en el relleno sanitario para generar energía eléctrica.

Desde el año 2017, en las celdas del relleno sanitario del Complejo de Pichacay existen ductos internos que permiten la recolección del biogás, así como infraestructura civil, electrónica y mecánica, que, en conjunto con equipos y sistemas apropiados, permiten la generación de electricidad. Según la EMAC EP (2018), en el año 2018, la denominada 'Planta de aprovechamiento de biogás' generó cerca de 5,165 MW de electricidad, mismos que representaron una venta total de \$572,269.51 USD. Asimismo, de acuerdo a Sánchez (2019), en el año 2019, la planta tuvo una tasa de aprovechamiento de biogás de 410 m³/h. No obstante, como ya se había anticipado, esta tecnología, al ser aplicada luego de la disposición final de los desechos, no se clasifica como de valorización energética. Este criterio conceptual es compartido por el personal técnico de la EMAC EP.

Aun cuando el indicador 6 haya resultado igual a cero para el área de estudio, es importante reconocer la labor de la EMAC EP respecto al aprovechamiento del potencial energético de los residuos depositados en su relleno sanitario. Adicionalmente, es imperativo destacar que la 'Planta de aprovechamiento de biogás' contribuye a la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, la cual ha sido estimada por la EMAC EP (2018) en un volumen de 5,635,000 Nm³, es decir, el equivalente a eliminar 30,000 toneladas de dióxido de carbono por año. En el campo económico, de acuerdo a Gutama (2020), la empresa 'EMAC-BGP

ENERGY CEM' ha generado pérdidas acumuladas por \$535,790 USD desde su origen, hecho que podría implicar su disolución. A pesar de que los impactos socioambientales positivos de la 'Planta de aprovechamiento de biogás' no se medirían únicamente en términos económicos, es importante considerar, en el marco de la sostenibilidad, la importancia de la estabilidad financiera de esta iniciativa, razón por la cual, la EMAC EP podría considerar, el mercado internacional de carbono como estrategia para fortalecerla económicamente.

3.3 Categoría III: Servicios básicos de agua

7. Acceso a agua potable

Como se detalló en la sección 2.1, el área de estudio fue delimitada, entre otros aspectos, con fundamento en las zonas de servicio de los cuatro principales sistemas de abastecimiento de agua potable que administra la empresa ETAPA EP en el cantón Cuenca. En relación a ello, la Figura 15 muestra el catastro de las redes de agua potable, las cuales, suman una longitud aproximada de 1,808.4 km. Se debe tener en cuenta que, del total de redes de distribución existentes en el área de estudio, más del 60% (1,136.2 km) abastecen a la población que habita dentro del límite urbano de Cuenca.

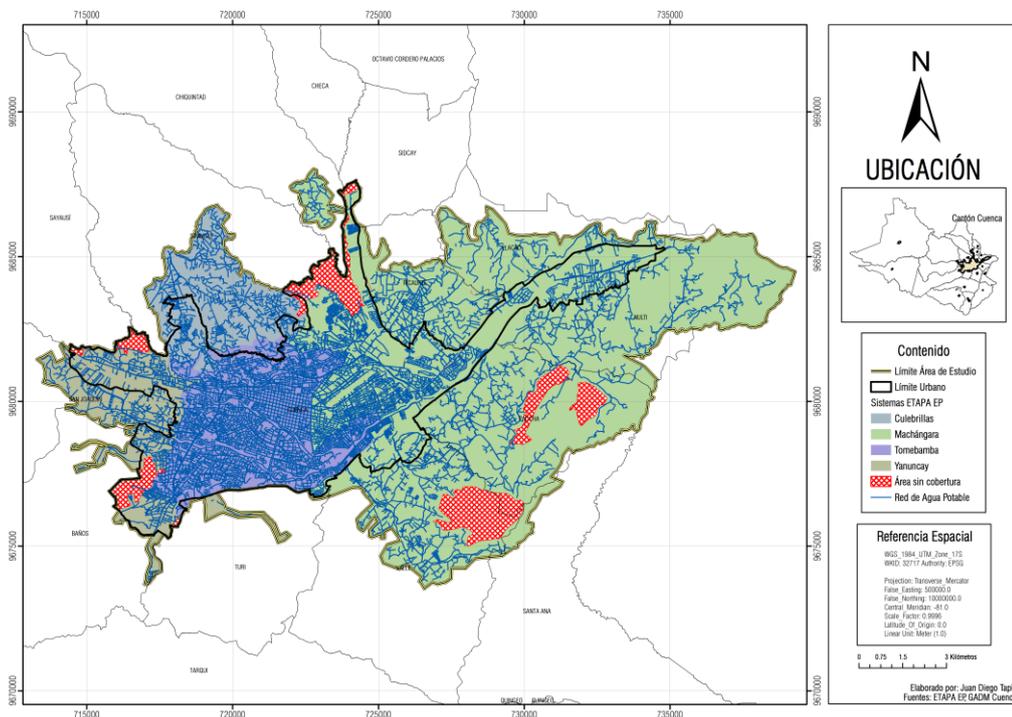


Figura 15. Catastro de redes de abastecimiento de agua potable en el área de estudio.

Fuente: ETAPA EP (2020d)

Elaboración propia

En la Figura 15 se observa también, la presencia de zonas, tanto urbanas como rurales, que no tienen cobertura del servicio de agua potable desde los cuatro principales sistemas de abastecimiento del área de estudio. Esta situación, sería consecuencia de un conjunto de condiciones técnicas (p. ej. viviendas ubicadas sobre la cota de servicio de las reservas instaladas), económicas-financieras (p. ej. zonas de baja densidad poblacional que no

permiten justificar, en términos económicos, la inversión en un proyecto de obra para la dotación del servicio), e inclusive legales (p. ej. asentamientos irregulares y sin planificación) inherentes a dichas zonas.

En el contexto descrito, y, conociendo que el servicio de agua potable suministrado por ETAPA EP corresponde al nivel I según la clasificación del JMP, es decir, es ‘gestionado de forma segura’, la Tabla 19 muestra las estadísticas de cobertura reportadas por ETAPA EP (2020b), desagregadas para la zona urbana y para la zona rural en el período 2015 – 2020. Al considerar el dato más actualizado disponible, el indicador 7 se calculó como se muestra en la ecuación (27), y resultó igual a 9.71.

$$\text{Indicador}_7 = \left(\frac{97.08}{10} \right) = 9.71 \quad (27)$$

Tabla 19. Cobertura del servicio de agua potable en el área de estudio – período 2015-2020.

Zona	Período	Población Total	Conexiones Agua Potable	Población Servida	Población Servida
		[hab]	[#]	[hab]	[%]
Urbana	dic-15	404835	104801	395871	97.79%
	dic-16	413730	109123	404750	97.83%
	dic-17	423002	113029	414118	97.90%
	dic-18	432672	115948	422817	97.72%
	dic-19	442760	121571	433171	97.83%
	jun-20	447973	122478	436893	97.53%
Rural	dic-15	86964	20313	78174	89.89%
	dic-16	88414	21666	81999	92.74%
	dic-17	89893	24682	84598	94.11%
	dic-18	91397	26588	86041	94.14%
	dic-19	92933	27505	88218	94.93%
	jun-20	93711	28151	88969	94.94%
TOTAL	dic-15	491799	125114	474045	96.39%
	dic-16	502144	130789	486749	96.93%
	dic-17	512895	137711	498716	97.24%
	dic-18	524069	142536	508858	97.10%
	dic-19	535693	149076	521389	97.33%
	jun-20	541684	150629	525862	97.08%

Fuente: ETAPA EP (2020b)
Elaboración propia

De acuerdo a ETAPA EP (2020b), en el cálculo de las coberturas de la Tabla 19, no se han considerado las conexiones industriales ni las conexiones comerciales que consumen menos de 9m³. A partir de un análisis que consideró las características del área de estudio, se deben mencionar dos aspectos de interés respecto a esta información. En primer lugar, se destaca el continuo incremento de conexiones domiciliarias, tanto en la zona urbana como en la zona rural, con tasas anuales promedio de crecimiento iguales a 3.8% y 7.9% respectivamente. Aquello refleja una constante demanda del servicio de agua potable, pues, en promedio, cada año ETAPA EP instala 4,193 nuevas conexiones en la zona urbana y 1,798 en la zona rural.

En segundo lugar, es de interés el hecho de que la zona urbana abarca, en promedio, el 82.2% del total de conexiones domiciliarias, pero, tan sólo el 62.8% del total de redes de distribución. En este aspecto, para dotar de agua potable al 17.8% de las conexiones de la zona rural del área de estudio, se ha requerido de cerca del 37.2% de la infraestructura de distribución de ETAPA EP. La baja densidad poblacional, la escasa o nula planificación territorial existente, así como las complejas condiciones topográficas podrían explicar esta situación, así como la permanente dificultad para extender la cobertura del servicio de agua potable en la zona rural del área de estudio.

8. Acceso a saneamiento

De acuerdo al JMP, un nivel de servicio de saneamiento 'gestionado de forma segura' implica que cada hogar disponga de una instalación de tipo mejorada exclusiva, además de que los excrementos producidos sean: i) tratados y eliminados *in situ*; ii) almacenados temporalmente y luego vaciados, transportados y tratados en una instalación externa; o, iii) transportados a través de una red de alcantarillado y luego tratados en una instalación externa.

En Cuenca la gran mayoría de hogares dispone de instalaciones mejoradas exclusivas para la separación higiénica de los excrementos. Respecto a la eliminación y tratamiento de los caudales residuales, la práctica i descrita en el párrafo anterior es inexistente en el área de estudio. La práctica ii es habitual en áreas en las que, por diversos motivos, no existen redes de alcantarillado, especialmente en la zona rural. En este caso, el sistema de recolección interno de las viviendas está conectado, por lo general, a una fosa séptica. Aunque la empresa ETAPA EP presta el servicio de limpieza de estas instalaciones para quienes así lo requieran, transportando y vaciando los caudales en la PTAR de Ucubamba para su tratamiento, el mantenimiento de las fosas sépticas domiciliarias no es una práctica extendida en la población del área de estudio, debido al costo adicional que ello implica, por lo que su colapso y contaminación derivada es usual. Aunque en una proporción ínfima, también se da el vertido directo de aguas residuales hacia el suelo o hacia recursos hídricos superficiales, a pesar de que aquello esté impedido por la normativa legal ecuatoriana.

Tal como se detalló para el cálculo del indicador 1, la práctica iii es la más extendida en el ámbito de la eliminación y tratamiento de los caudales residuales, pues con un 90.4% de cobertura, la PTAR de Ucubamba trata los caudales recolectados y transportados por las redes de alcantarillado de Cuenca. En el área de estudio este sistema tiene una longitud aproximada de 1,490.5 km, y, está compuesto en su mayoría, por redes de tipo combinado, pero, también, por redes de tipo sanitario y pluvial. Además, es importante indicar que el 76.6% de redes están instaladas en la zona urbana, y, tan solo el 23.4% en la zona rural.

De acuerdo a ETAPA EP (2020b), con corte al mes de junio del año 2020, la cobertura del servicio de alcantarillado en el área de estudio alcanzó el 95.25%. No obstante, una fracción de las redes del sistema no está dentro del área de servicio de la PTAR de Ucubamba, razón por la cual los caudales residuales no reciben un tratamiento previo a su descarga final. Es el caso de las redes existentes aguas abajo de la PTAR de Ucubamba, en el sector urbano

Challuabamba y en sectores rurales de las parroquias Llacao, Nulti, Paccha y Ricaurte, tal como se muestra en la Figura 12.

En consideración de lo expuesto en la presente sección, la cobertura del servicio de saneamiento en el área de estudio corresponde a la cobertura de la PTAR de Ucubamba, por lo que el indicador 8, al igual que los indicadores 1 y 2, es igual a 9.04.

9. Calidad del agua potable

El Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) cumple las funciones de organismo técnico competente en materia de reglamentación, normalización, metrología y evaluación de la conformidad en el Ecuador, siendo responsable, entre otros aspectos, de la formulación de las normas técnicas para mejorar la competitividad, la salud y seguridad del consumidor, la conservación del medio ambiente y para promover una cultura de calidad para alcanzar el buen vivir en el país.

Hace casi tres décadas, el INEN (1992) publicó el código CPE INEN 5 Parte 9-1:1992 con las normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable para poblaciones mayores a 1,000 habitantes, incluyendo una sección referente a las normas de calidad física, química, radiológica y bacteriológica del agua potable. Empero, de acuerdo al Registro Oficial (2014) su carácter de cumplimiento fue cambiado de obligatorio a voluntario por el Ministerio de Industrias y Productividad en el año 2014. El INEN (2020) publicó también la sexta revisión de la norma NTE INEN 1108, la cual establece requisitos de calidad del agua para consumo humano y es aplicable al agua proveniente de los sistemas de abastecimiento y que es suministrada a través de los sistemas de distribución. No obstante, al igual que para el caso anterior, según el Registro Oficial (2020), su carácter de cumplimiento ha sido oficializado como voluntario por el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca.

Por su parte, de acuerdo a ETAPA EP (2020d), la política de calidad de los procesos de potabilización de los sistemas en el área de estudio se enfoca hacia el cumplimiento de los estándares de calidad, requisitos legales, reglamentarios, del cliente y demás partes interesadas. En este sentido, dicha empresa cuenta con la certificación ISO 9001:2015 a sus procesos de potabilización, monitoreando además el cumplimiento de la norma NTE INEN 1108 a través de un programa de muestreo diario, con el objetivo de garantizar el servicio público de agua potable y también para detectar posibles alteraciones durante su distribución. En este aspecto, la Tabla 20 muestra los promedios anuales de los resultados del programa de monitoreo de ETAPA EP para el período 2015 – 2020.

Al considerar el promedio de los valores mensuales del índice de calidad del agua distribuida reportados por ETAPA EP en el período disponible, el indicador 9 resultó igual a 9.40. Esto supone que, aproximadamente, el 94% de las muestras de agua potable analizadas cumple con los criterios de calidad establecidos en la norma NTE INEN 1108, recalcando que su cumplimiento no es obligatorio en el Ecuador.

Tabla 20. Índice de calidad de agua distribuida en el área de estudio – período 2015-2020.

Período	Índice de Calidad
	[hab]
2015	92.37%
2016	93.75%
2017	93.49%
2018	94.31%
2019	94.83%
jun-20	94.50%

Fuente: ETAPA EP (2020b)
Elaboración propia

3.4 Categoría IV: Tratamiento de aguas residuales

10. Recuperación de nutrientes

Los caudales residuales recolectados a través del sistema de alcantarillado en el área de estudio, previo a su descarga final, reciben tratamiento en la PTAR de Ucubamba, instalación con una tecnología de tratamiento de tipo terciario. De acuerdo a ETAPA EP (2020d), dicha PTAR está actualmente operando a su máxima capacidad nominal, es decir, recibe un caudal de 1.80 m³/s.

Los procesos de tratamiento de la PTAR de Ucubamba no consideran técnicas para la recuperación de nutrientes del caudal afluyente, el cual, tal como se muestra en la Tabla 21 para el período 2010 – 2016, presentó concentraciones promedio de 21.87 mg/l de nitrógeno total y 4.49 mg/l de fósforo total, consideradas como altas.

Tabla 21. Valores promedio de parámetros del afluyente a la PTAR de Ucubamba – período 2010-2016.

Período	Caudal	DBO ₅	DQO	NKT	PT
	[l/s]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
2010	1165.83	118.25	292.92	21.40	5.25
2012	1360.83	96.83	235.33	18.13	3.97
2013	1526.60	105.75	239.73	21.51	4.10
2014	1575.19	119.22	286.70	21.00	4.39
2015	1562.95	147.26	331.68	24.77	5.01
jun-16	1740.91	120.57	402.64	24.40	4.19
Promedio	1488.72	117.98	298.17	21.87	4.49

Fuente: Greeley & Hansen et al. (2017)
Elaboración propia

En tal razón, el indicador 10 se calculó como se muestra en la ecuación (28), y resultó igual a 0.

$$\text{Indicador}_{10} = \left(\frac{0}{1.8 \cdot 86400 \cdot 365} \right) * 9.04 = 0 \quad (28)$$

Es importante indicar que el efluente final de la PTAR de Ucubamba es descargado en el río Cuenca, el cual se forma a partir de los cuatro ríos que atraviesan el área de estudio y nace de la unión de los ríos Machángara y Tomebamba, aproximadamente 1.7 km aguas arriba de la ubicación de la PTAR. En relación a ello, según un estudio realizado por Espinoza & Zumba

(2018) luego de la descarga del efluente tratado, la calidad del agua en el río Cuenca presenta poca variación respecto a la mostrada por éste aguas arriba, especialmente durante la época lluviosa, destacando su capacidad de autodepuración. Espinoza & Zumba (2018) concluyen que el río Cuenca, tanto antes como después de la descarga, no tiene las condiciones para otorgar ningún uso conforme a la normativa vigente por lo que el impacto producido por el efluente de la PTAR tiene un nivel de significancia bajo. Empero, aguas abajo de la descarga el ente competente ha autorizado caudales para riego (38 l/s) y para fines industriales (12 l/s).

En el marco de la sostenibilidad y de la GIRH, la retención de nutrientes en el efluente de una PTAR para utilizarlo como agua para riego es uno de los enfoques principales. En el caso del área de estudio, dicho enfoque podría tener potencial de desarrollo, pues el afluente de la PTAR de Ucubamba presenta altas concentraciones de N y P, situación que incluso provoca el incremento de la eutrofización en el río Cuenca luego de la descarga. A ello se suma el hecho de que, aguas abajo de la PTAR, la mayor proporción de los usos autorizados del agua del río son para riego.

11. Recuperación de energía

La PTAR de Ucubamba no incluye tecnologías para la recuperación de energía del caudal residual afluente. En este sentido, al igual que el caso anterior, el indicador 11 es igual a 0.

Es preciso señalar que, en la PTAR, a continuación del tratamiento preliminar, el tratamiento primario se efectúa en dos lagunas aireadas de una profundidad de 4.5 metros y un área aproximada de 3 hectáreas cada una. Esta etapa de tratamiento tiene como objetivo principal la asimilación de la materia orgánica soluble presente en el agua residual, logrando la separación de los sólidos y la reducción de la carga orgánica en un período de retención corto. Para ello es fundamental tanto la oxigenación como la conservación de la biomasa en suspensión, pues el sistema es esencialmente aerobio. Esto se logra con la ayuda de unidades flotantes de aireación mecánica de alta velocidad de flujo inclinado, cuyo consumo energético es una de las mayores desventajas del sistema.

En este aspecto, de acuerdo a ETAPA EP (2020d), para el tratamiento primario en la PTAR de Ucubamba cada laguna aireada dispone actualmente de 10 equipos de aireación de 75 HP y 12 de 25 HP. La potencia instalada máxima es de 2,100 HP (1,566 kW), por lo que su funcionamiento representa un gasto energético de magnitud, el cual se traduce en costos operativos significativos para ETAPA EP. En función de distintos escenarios de operación que son aplicados, dichos costos se han estimado entre \$25,000 y \$86,000 USD mensuales, con diferentes rendimientos en las lagunas. Tan sólo al considerar el requerimiento de energía de esta etapa del tratamiento es evidente el alto consumo de la PTAR de Ucubamba, por lo que la valorización energética de las aguas residuales podría resultar de interés para, en primera instancia, lograr un ciclo energético neutral que disminuya los costos operativos.

Con proyección a futuro, de acuerdo a Greeley & Hansen et al. (2017), en la nueva PTAR de Guangarcucho (tecnología de lodos activados), la digestión anaerobia de los lodos produciría un caudal de biogás aproximado de 552 m³/h. El 36% biogás se utilizaría como combustible

en los procesos de tratamiento de la instalación, mientras que el 64% restante podría servir para la cogeneración eléctrica con una capacidad teórica estimada de 744 kW·h, y, que al reutilizarse en la propia PTAR contribuiría al alivio de la factura resultante, la cual ha sido estimada en \$111,000 USD mensuales. Sin embargo, cabe la posibilidad de que este 64% de biogás sea incinerado si es que no se considera la implementación de la infraestructura para la cogeneración, desperdiciando así el potencial probable para la valorización energética y con una visión contraria al enfoque de la GIRH y su sostenibilidad.

12. Reciclaje de lodos

Respecto a su operación y mantenimiento, la concepción de diseño de la PTAR de Ucubamba planteaba que los lodos acumulados en las lagunas debían removerse cada 5 años mediante un proceso de drenado, secado natural y acumulación, para su posterior uso como abono. Debido a la insuficiente información respecto a las características de los lodos y a la falta de un plan de gestión vinculado, esta propuesta fue descartada, y, en su defecto, desde el año 2007, ETAPA EP puso en marcha un sistema de extracción, transporte, deshidratación y acondicionamiento para dichos lodos. De acuerdo a Rengel & ETAPA EP (2008) este sistema posee una capacidad de generación de 9,000 toneladas anuales de sólidos deshidratados; sin embargo, su funcionamiento ha sido irregular como resultado de dificultades operativas y de mantenimiento.

Según Rengel & ETAPA EP (2008), al considerar aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales, ETAPA EP definió que lo más adecuado en relación a la disposición final de los lodos deshidratados era la co-disposición conjunta con los desechos sólidos generados en el área de estudio. Para ello, en el año 2014, dos empresas municipales, ETAPA EP y EMAC EP, suscribieron un convenio de cooperación interinstitucional estableciendo un sistema de mutuo beneficio ambiental mediante el cual la primera entrega los lodos deshidratados a la segunda para su disposición final, mientras que la segunda entrega los lixiviados del relleno sanitario a la primera para su tratamiento en la PTAR de Ucubamba. En la Tabla 22 se muestra, para el período 2013 – 2018, el detalle de los lodos dispuestos en el relleno sanitario.

Tabla 22. Peso de lodos de ETAPA EP dispuestos en el relleno sanitario de Pichacay – período 2013-2018.

Año	Peso
	[t]
2013	2093
2014	7030
2015	10757
2016	4060
2017	894
2018	8610

Fuente: EMAC EP (2019)
Elaboración propia

En este marco, los lodos producto del tratamiento de aguas residuales en el área de estudio no son ni reciclados ni reutilizados. En tal razón, el indicador 12 resultó igual a 0 al calcularse tal como se muestra en la ecuación (29).

$$\text{Indicador}_{12} = \left(\frac{0}{8610} \right) * 9.04 = 0 \quad (29)$$

Teniendo en cuenta el gran volumen de lodos todavía acumulados en la PTAR de Ucubamba, así como una potencial implementación, en el futuro cercano, de la PTAR de Guangarcucho, es necesaria la discusión respecto a este indicador en el área de estudio.

En la PTAR de Ucubamba existe una cantidad acumulada de lodos estimada entre 390,000 y 450,000 m³. Según Greeley & Hansen & ETAPA EP (2019) la mayor cuantía de lodos reside en las lagunas facultativas (comprometiendo el 48% de su volumen), existiendo también depósitos en las lagunas aireadas (32% y 35%) y de maduración (19% y 25%). Esta continua acumulación disminuye la capacidad operativa de la PTAR al reducir los tiempos de retención del tratamiento, afectando así la calidad del efluente. Y, aunque el sistema instalado para la extracción de los lodos tiene una capacidad de 70 m³/día, se necesitarían más de 15 años para la limpieza total de las lagunas, por lo que mejorar el proceso resulta imperativo.

Por otro lado, de acuerdo a la EMAC EP (2019) la tasa actual de disposición de lodos deshidratados en el relleno sanitario es de 50 m³/día. A su vez, la operación de la PTAR de Guangarcucho implicaría una tasa adicional de 80 m³/día. Según ETAPA EP (2020d)(ETAPA EP, 2020d) la entrega de este volumen para co-disposición podría extenderse hasta por tres años, mientras se desarrolla e implementa un sistema de aprovechamiento para los lodos, que, tal como se discutió para el indicador anterior, podría basarse en la generación de energía eléctrica. Es preciso tener en cuenta que, conforme a las proyecciones realizadas por la EMAC EP (2019), al considerar el depósito adicional de 80 m³/día, la relación lodos/desechos en el relleno sanitario superaría el límite máximo recomendado para no poner en riesgo sus características técnicas y su estabilidad. Asimismo, teniendo en cuenta la vida útil remanente del relleno sanitario (hasta el año 2031), la EMAC EP (2019) ha proyectado que, inclusive al recibir únicamente los lodos deshidratados de la PTAR de Ucubamba, en el último año de operación del relleno se produciría un déficit en su capacidad volumétrica.

Los lodos deshidratados provenientes de la PTAR de Ucubamba son estables, es decir, no contienen cantidades significativas de materia orgánica o sólidos volátiles. Por su parte, los lodos de la PTAR de Guangarcucho presentarían concentraciones más elevadas de estos parámetros, complicando su disposición en el relleno sanitario. Pero, tal como se indicó, dicho relleno no tendría la capacidad suficiente para receptor todo el volumen de lodo acumulado en la PTAR de Ucubamba, ni los lodos que a futuro generaría la PTAR de Guangarcucho.

Con esta problemática a la vista, ETAPA EP está actualmente coordinando la ejecución de los estudios de un plan integral para la gestión sostenible de los biosólidos. La etapa de pre-factibilidad de dicho plan ha dado a conocer, entre otros aspectos, que: i) el bajo contenido de nutrientes en los lodos acumulados en la PTAR de Ucubamba podría limitar los usos de los biosólidos para aplicaciones agrícolas; ii) la capacidad calorífica de los biosólidos de la PTAR de Guangarcucho es baja y podría causar que su uso en un incinerador no sea eficiente; iii) la incineración y el secado térmico de los lodos implican costos elevados, siendo

el compostaje la tecnología de aprovechamiento más barata; iv) la comercialización de un producto agrícola desarrollado a partir de los biosólidos podría cubrir parcialmente los costos operativos, pero su producción requiere de un sistema de gestión fuera del ámbito de acción de ETAPA EP; v) la alternativa más ventajosa para el manejo de biosólidos sería su uso agrícola o para la recuperación de terrenos. Empero, se debe destacar que, a nivel nacional, no existen normativas que regulen la disposición de lodos provenientes de las PTAR en terrenos de recuperación o para su uso como fertilizante, por lo que, a la fecha, no se podría garantizar la viabilidad técnica y jurídica de las alternativas de disposición de biosólidos identificadas como de mayor potencial en el área de estudio.

13. Eficiencia energética del tratamiento de aguas residuales

Si bien en Ecuador desde hace dos décadas se han puesto en práctica medidas y proyectos independientes con objetivos concretos en el campo de la eficiencia energética, éstas se han enfocado principalmente en el sector residencial. De acuerdo a un estudio realizado por la CAF (2016), el transporte y el sector industrial son los mayores consumidores de energía en el país, mientras que el suministro de electricidad, gas y agua, actividad económica que incluiría al tratamiento de aguas residuales, contribuye apenas el 2% del PIB, por lo que se ha considerado, en términos generales, como no relevante en el marco de la eficiencia energética en el Ecuador. Según la CAF (2016), las medidas de eficiencia que presentarían mayor potencial de desarrollo en el territorio ecuatoriano incluyen el cambio a luminarias de tipo CFL y tipo LED, la instalación de sistemas de variación de frecuencia en motores eléctricos, la implementación de la norma ISO 50001 para la gestión de la energía en una organización, y, la instalación de calderas de proceso eficientes. Estas medidas tienen enfoque hacia los sectores comercial e industrial.

En el ámbito oficial, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2017) ha publicado el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016 – 2035 (PLANEE), el cual incluye propuestas de medidas aplicables a la realidad ecuatoriana para fomentar una cultura de eficiencia en los sectores relacionados con la provisión y el uso de energía. Si bien el PLANEE no identifica ni incorpora programas o proyectos explícitamente vinculados con la eficiencia energética en el sector saneamiento, en su eje industrial incluye el objetivo específico 1, el cual plantea el reemplazo de equipos ineficientes, la aplicación de sistemas de cogeneración y la adopción de la norma ISO 50001. Este objetivo podría abarcar el sector saneamiento, así como tener afinidad con los procesos que se efectúan en una PTAR.

Adicionalmente, desde el año 2019, en el país está vigente la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, la cual promueve el uso eficiente, racional y sostenible de la energía. Esta ley persigue la construcción de una cultura de sostenibilidad ambiental en Ecuador y el aporte a mitigar el cambio climático. La ley circunscribe a todas las actividades, de carácter público o privado, institucional o particular, para las que se efectúe transformación y/o consumo de energía de cualquier forma y para todo fin. Empero, esta normativa está todavía en desarrollo, y reglamentos específicos no han sido publicados. Es importante mencionar que la ley obliga

a los GADM del país a que, en base a sus competencias y atribuciones, implementen acciones y medidas para el cumplimiento del PLANEE. Y, aunque todos los sectores consumidores de energía están regulados por ella, la ley ha planteado a los sectores de la construcción y del transporte como ejes fundamentales. Sin embargo, la ley tampoco hace mención explícita a la eficiencia energética en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Como se mencionó en la discusión del indicador 11, ETAPA EP está actualmente coordinando la ejecución de un plan maestro de gestión de biosólidos en las PTAR del área de estudio. La fase de pre-factibilidad ha culminado, mientras que las siguientes fases permitirán determinar el diseño definitivo de la tecnología que, entre otros aspectos, permita el aprovechamiento energético de los biosólidos con consideraciones de eficiencia y sostenibilidad.

En el contexto descrito, la existencia de información respecto a la eficiencia energética del tratamiento de aguas residuales, tanto a nivel nacional como local, es limitada. Por ello, de acuerdo a los criterios de evaluación del método CBF, el indicador 13 resultó igual a 2.

3.5 Categoría V: Infraestructura

14. Separación de caudales pluviales

El sistema de alcantarillado del área de estudio presenta la distribución espacial de la Figura 16.

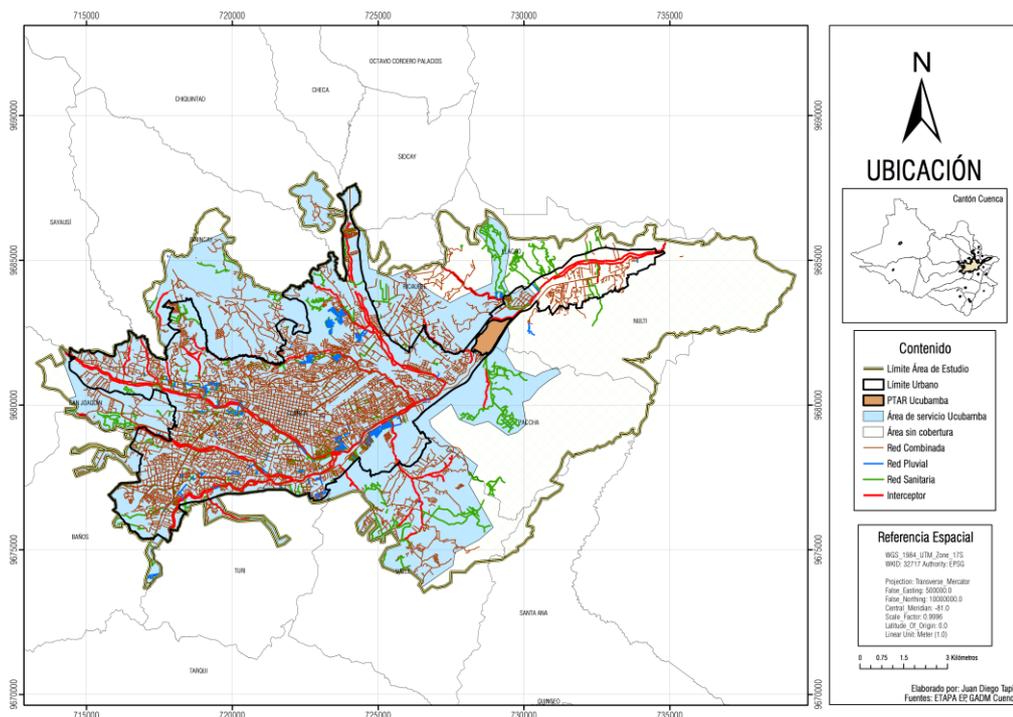


Figura 16. Catastro de redes de alcantarillado en el área de estudio.

Fuente: ETAPA EP (2020d)

Elaboración propia

Mediante cámaras especiales, los caudales transportados por las redes del sistema son derivados hasta los interceptores sanitarios emplazados en las márgenes de las principales quebradas y ríos de Cuenca. La red de interceptores converge hacia la actual PTAR de

Ucubamba y se ha proyectado hasta la futura PTAR de Guangarcucho. En este aspecto, cuando se producen eventos de precipitación, el exceso de agua lluvia presente en las redes de tipo combinado es descargado en el recurso hídrico superficial más cercano a la cámara de derivación del sistema.

Conforme al catastro de ETAPA EP (2020d), al mes de agosto del año 2020, el sistema de alcantarillado del área de estudio estuvo constituido por aproximadamente 1,490 km de redes conformadas por tuberías de diámetros en el rango 150 mm – 2000 mm y por colectores de diferentes dimensiones y secciones transversales. El 76.6% de dicho sistema opera dentro el límite urbano y tan sólo el 23.4% en las zonas rurales. Con estos antecedentes, la Tabla 23 detalla las longitudes por tipo de red de alcantarillado en el área de estudio.

Tabla 23. Clasificación del alcantarillado en operación en el área de estudio por tipo de red.

Tipo	Longitud	Porcentaje
	[km]	[%]
Combinado	1077	72.3%
Sanitario	187	12.6%
Interceptor	152	10.2%
Pluvial	52	3.5%
Descarga	22	1.5%
TOTAL	1490	100%

Fuente: ETAPA EP (2020d)
Elaboración propia

Los interceptores se consideran como redes de tipo sanitario, mientras que las descargas son parte del sistema pluvial. Así, de acuerdo a la información mostrada en la Tabla 23, el indicador 14 se calculó como se muestra en la ecuación (30) y resultó igual a 2.77.

$$\text{Indicador}_{14} = \left(\frac{74 + 339}{1077 + 74 + 339} \right) * 10 = 2.77 \tag{30}$$

De acuerdo a Ordóñez (2008), el sistema de alcantarillado de la ciudad de Cuenca construido en el período 1941 – 1968 era esencialmente de tipo combinado. Con la creación de la empresa ETAPA EP en el año de 1968, la macro planificación con horizonte de diseño hasta el año 2000 planteó como mejor alternativa para el saneamiento de Cuenca la implementación conjunta de un sistema separado con un sistema combinado. No obstante, dicha planificación consideró la posibilidad de construir, por etapas, un sistema separado, de tal forma que la construcción de redes en zonas periféricas a la ciudad no implique modificaciones mayores al sistema existente en el casco central, pensando en que, eventualmente, éste sea modificado o reconstruido.

Empero, tal como se observa en la Figura 16, actualmente las redes de tipo combinado predominan en el área de estudio, especialmente dentro del límite urbano. La red vial de la zona urbana se caracteriza por estar pavimentada en su gran mayoría, situación que significa un coeficiente de escorrentía alto que incrementaría la vulnerabilidad del sistema frente a fenómenos hidrometeorológicos extremos. Precisamente con su ocurrencia la eficiencia en

los procesos de tratamiento de la PTAR de Ucubamba disminuye debido al caudal combinado efluente. Por lo tanto, el mantenimiento del sistema es fundamental, más aún al considerar que, de acuerdo a ETAPA EP (2020b) el volumen afluente a la PTAR de Ucubamba para el período 2014 – 2019 fue, en promedio, 157% mayor que el volumen de agua potable consumida en el área de servicio de la empresa.

Por otra parte, la implementación de sistemas separados se ha visto limitada a condominios y urbanizaciones, los cuales, por su ubicación cercana a un recurso hídrico superficial, tienen la posibilidad de descarga de las redes de tipo pluvial. Adicionalmente, las redes de tipo sanitario se han implementado, sobre todo, en la zona rural del área de estudio. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los sistemas internos de las viviendas en Cuenca, rara vez se construyen considerando la separación de caudales pluviales, pues aquello implica una mayor inversión económica, por lo que el índice de aguas ilícitas en estas redes suele ser elevado.

15. Antigüedad promedio del sistema de alcantarillado

Acorde a lo relatado por Ordóñez (2008) en el período 1925 – 1941 se construyeron los primeros colectores de la red de alcantarillado en el centro de la ciudad de Cuenca. Bajo la gestión de la Empresa Municipal de Luz, Agua y Teléfonos (EMLAT), en el período 1941 – 1968 la cobertura de alcantarillado en la ciudad creció, proyectándose principalmente redes de tipo combinado. A partir de la fundación de la empresa ETAPA EP en el año de 1968, las zonas rurales del cantón, históricamente relegadas, empezaron a ser consideradas en la proyección de los servicios públicos de agua potable y saneamiento. Con esta planificación más integral, macro-estudios impulsados por ETAPA EP en los años 1969, 1985 y 2004 permitieron disponer de diseños sistémicos de redes de alcantarillado, así como soluciones efectivas para el saneamiento en el área de estudio.

Según Ordóñez (2008) la infraestructura de alcantarillado planificada en el año 1969 empezó su construcción inmediatamente en el año de 1970. Por su parte, los diseños del programa 'Planes Maestros de Agua y Alcantarillado para el Área Metropolitana de Cuenca – I Fase' del año 1985 se implementaron desde el año 1993 hasta el año 1999, finalizando con la construcción de la PTAR de Ucubamba. Asimismo, la ejecución de las obras diseñadas en el programa 'Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca – II Fase' del año 2004 se efectuaron durante el período 2006 – 2012, con un horizonte de diseño hasta el año 2030. Cabe mencionar que ETAPA EP se encuentra actualmente desarrollando el programa 'Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para Cuenca – III Fase', cuya área de servicio abarcará la zona urbana y a todas las parroquias rurales del cantón Cuenca, con un horizonte de diseño hasta el año 2050.

Por su parte, el Departamento de Diseño e Ingeniería de ETAPA EP desarrolla continuamente proyectos específicos para cubrir la demanda ciudadana de los servicios de agua potable y alcantarillado. Estos proyectos son implementados bajo la supervisión del Departamento de Construcción y Fiscalización, incrementando, de manera permanente, la cobertura del servicio de alcantarillado en el área de estudio. La Tabla 24 muestra, para el período 2014 –

2019, la evolución anual de las longitudes de redes de alcantarillado de ETAPA EP en todo el cantón Cuenca. En dicho período, el incremento promedio de redes en la zona urbana alcanzó los 40 km por año, mientras que en la zona rural alcanzó los 49 km por año.

Tabla 24. Longitud de redes de alcantarillado existentes de ETAPA EP en el cantón Cuenca – período 2014-2019.

Período	Urbano	Rural	TOTAL
	[km]	[km]	[km]
2014	988	492	1480
2015	1036	524	1560
2016	1060	569	1629
2017	1109	631	1739
2018	1143	658	1801
2019	1190	736	1925

Fuente: ETAPA EP (2020b)
Elaboración propia

A pesar de lo expuesto, información sistematizada respecto a la fecha de construcción de las redes de alcantarillado en el área de servicio de ETAPA EP está disponible únicamente para aquellas obras construidas a partir del año 2015. En tal razón, para el cálculo del indicador 15 se realizó una encuesta a personal gerencial y técnico de ETAPA EP, para lo que se consideró el cargo y los años de servicio en la empresa de las y los encuestados, con el detalle que se muestra en la sección 6.2.

Así, al considerar la antigüedad promedio del sistema de alcantarillado en el área de estudio (aproximada a partir los resultados de la encuesta ejecutada), el indicador 15 se calculó como se muestra en la ecuación (31), y resultó igual a 7.40.

$$\text{Indicador}_{15} = \left(\frac{60 - 23}{60 - 10} \right) * 10 = 7.40 \quad (31)$$

16. Fugas en los sistemas de agua

El DAIAS de la empresa ETAPA EP es responsable de la valoración de la macro distribución y operación de los sistemas de abastecimiento de agua potable en el área de estudio. Así también, a través de las actividades de micro medición se encarga de controlar las pérdidas aparentes y reales en dichos sistemas. El DAIAS produce información que permite evaluar la relación entre los volúmenes de producción y consumo de agua potable a través del Índice de Agua No Contabilizada (IANC).

El IANC es un parámetro de control que refleja las pérdidas totales en los sistemas de abastecimiento de agua potable y se expresa como el porcentaje de agua no facturada respecto al volumen total de agua producida. En este sentido, la Tabla 25 muestra, para el período 2014 – 2019, el IANC en el área de estudio.

Tabla 25. Índice de agua no contabilizada en el área de estudio – período 2014-2019.

Período	IANC
	[%]
2014	29.82%
2015	29.26%
2016	29.78%
2017	31.12%
2018	29.13%
2019	32.67%

Fuente: ETAPA EP (2020b)
Elaboración propia

El promedio del IANC para el período de información disponible es 30.30%. Al considerar este valor como el porcentaje de pérdidas totales en la ecuación (32), el indicador 16 resultó igual a 3.94.

$$\text{Indicador}_{16} = \left(\frac{50 - 30.30}{50} \right) * 10 = 3.94 \quad (32)$$

En el año 2004 TYPESA et al. (2004) proyectó que para el año 2020 las pérdidas totales en los sistemas de abastecimiento de agua potable del área de estudio estarían en el orden del 30% (25% reales y 5% aparentes). Si bien de acuerdo al IANC y al resultado del indicador 16 esta proyección se estaría cumpliendo, el porcentaje actual de pérdidas totales es todavía alto en relación a los estándares internacionales considerados por el método CBF. De hecho, según ETAPA EP (2020b), estas pérdidas significaron en promedio, para el período 2014 – 2019, aproximadamente 10.9 millones de metros cúbicos anuales de agua potable.

17. Recuperación de costos operativos

La Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento – ETAPA EP es la responsable de la prestación de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental en el área de estudio, además de constituirse como la principal entidad promotora de la GIRH en el cantón Cuenca. Fundada en el año de 1968 como la Empresa Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado – ETAPA, su creación estuvo motivada por la creciente demanda de estos servicios, así como en la necesidad de satisfacerlos de una manera técnica, planificada y con visión a futuro.

Según relata Tello (2018), ETAPA incluyó inicialmente la telefonía entre sus servicios con un objetivo meramente financiero, es decir, para que subsidiara las deficiencias económicas de su creación y operación las cuales no podrían ser asumidas por la Municipalidad ni cargadas a las planillas de consumo de agua. De acuerdo a Tello (2020) ETAPA nació con 2,000 líneas telefónicas y llegó a alcanzar las 120,000 líneas en el año 2015. No obstante, en los últimos años, el desarrollo de la telefonía móvil y del internet ha vuelto obsoleta a la telefonía fija, servicio considerado por ETAPA EP (2020h) como emblemático por su valor histórico y por su aporte en el desarrollo de las tecnologías de comunicación e información en Cuenca. En este aspecto, actualmente ETAPA EP, a través de la Gerencia de Telecomunicaciones ofrece

los servicios de internet, centro de datos y de televisión satelital, este último en proceso de liquidación como resultado de las pérdidas económicas que ha generado para la empresa.

En el contexto descrito, teniendo en cuenta que ETAPA EP además de constituirse como una empresa de agua y saneamiento, también proporciona servicios de telecomunicaciones, la Tabla 26 muestra el resumen del estado de resultados de la empresa para el año 2019.

Tabla 26. Estado de resultados de ETAPA EP del año 2019.

DESCRIPCIÓN	+	-	RESULTADO
Total Ventas de Bienes y Servicios	\$ 2,155,697.10		
Total Ventas No Industriales	\$ 69,628,781.80		
TOTAL VENTAS NETAS DE BIENES Y SERVICIOS	\$ 71,784,478.90		
TOTAL DE COSTOS DE VENTAS Y PRODUCCIÓN		\$ (59,569,302.93)	
RESULTADOS DE EXPLOTACIÓN BRUTA			\$ 12,215,175.97
Total Tasas y Contribuciones	\$ 1,871,004.96		
Total Gastos de Inversiones Públicas (SGA)		\$ (1,567,110.82)	
Total Gastos de Remuneraciones		\$ (8,169,437.35)	
Total Gastos Bienes y Servicios de Consumo		\$ (4,404,943.67)	
Total Gastos Financieros		\$ (580,259.18)	
TOTAL DE GASTOS			\$ (12,850,746.06)
RESULTADOS DE OPERACIÓN			\$ (635,570.09)

Fuente: (ETAPA EP, 2020c)
Elaboración propia

Con la información de este último estado de resultados disponible, la razón de recuperación de los costos operativos se calculó como se muestra en la ecuación (33) y resultó igual a 0.95.

$$\varphi = \frac{12215175.97}{12850746.06} = 0.95 \quad (33)$$

Como se puede observar en la Tabla 26 y en el valor obtenido para la razón φ , durante el año 2019 los ingresos que obtuvo ETAPA EP por concepto de las tarifas y los cargos por los servicios que provee no permitieron cubrir sus costos operativos. Por otro lado, el resultado del ejercicio (el cual para su cálculo considera adicionalmente los montos de financiamiento gestionados por la empresa, así como los gastos no operativos relacionados) fue positivo e igual a \$2,524,720.13 USD.

El indicador 17 se calculó así según el método CBF, con la ecuación (34) actualizada a partir de la información mostrada en la Figura 10 y resultó igual a 4.20.

$$\text{Indicador}_{17} = \left(\frac{0.95 - 0.02}{2.23 - 0.02} \right) * 10 = 4.20 \quad (34)$$

Según el Banco Mundial (2020a), para el año 2010, la razón de recuperación promedio de las empresas de agua potable y saneamiento ecuatorianas era igual a 0.25. Si bien la razón obtenida para el último año de operación de ETAPA EP refleja un déficit en la cobertura de sus costos operativos, éste no sería tan significativo, pues φ resultó bastante cercano a 1. No obstante, es preciso recalcar que de acuerdo a El Mercurio (2020) el servicio de internet es el único que estaría generando réditos para la empresa, pues según ETAPA EP (2020c) la venta

de servicios de telecomunicaciones representó cerca del 44% de sus ingresos, mientras que el servicio de agua potable y saneamiento es actualmente subsidiado. Se debe tener en cuenta que el estado financiero de una empresa proveedora de servicios de agua y saneamiento es de esencial importancia para una GIRH sostenible.

3.6 Categoría VI: Robustez climática

18. Espacio azul y verde

Para el territorio ubicado fuera del límite urbano y de las zonas de expansión urbana del área de estudio, las categorías de ordenación definidas en el PDOT vigente se agrupan en cuatro niveles de uso: conservación, conservación activa, recuperación y producción. En la Figura 17 se muestran, para dicho territorio, aquellas categorías compatibles con la definición de espacio verde según el método CBF. La Figura 17 muestra además las áreas de los recursos hídricos superficiales en la zona de estudio, para las cuales el PDOT considera un margen de protección para su conservación (bosques de ribera, parques lineales, etc.).

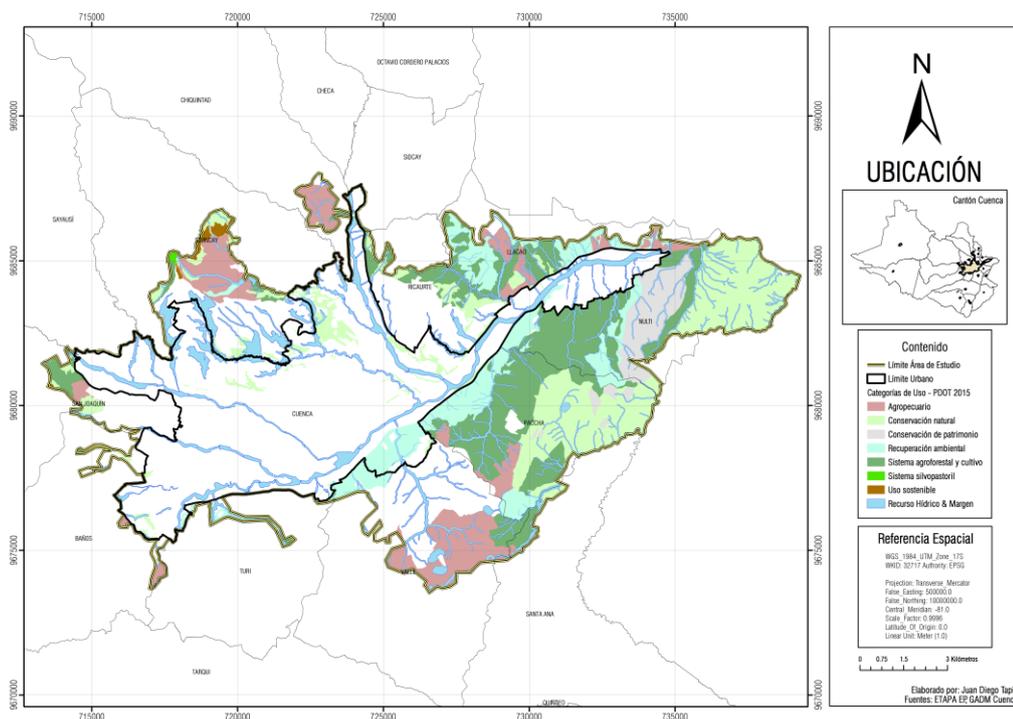


Figura 17. Categorías de uso de suelo compatibles con el espacio azul y verde en el área de estudio.
 Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca (2015)
 Elaboración propia

Los resultados del geo-procesamiento realizado para obtener la Figura 17 se muestran en la Tabla 27, en la cual se detalla, para cada categoría de ordenación en la zona de estudio, su área y su nivel de uso según la clasificación del PDOT. El espacio azul (incluyendo sus márgenes de protección) alcanzan una superficie de 2349.1 ha, es decir, aproximadamente el 12.7% del área de estudio. Por su parte, en la zona rural, hay dos categorías con presencia importante: áreas de conservación natural y áreas con sistemas agroforestales y cultivos.

Tabla 27. Categorías de uso de suelo compatibles con espacios azules y verdes en el área de estudio.

Nivel de Uso	Categoría de Ordenación	Área
		[ha]
Conservación	Áreas de conservación natural	2362.6
	Áreas de conservación de patrimonio cultural	530.1
	Áreas de conservación de recursos hídricos	2349.1
Conservación Activa	Áreas de usos sostenibles	60.4
Recuperación	Áreas de recuperación ambiental	1264.7
Producción	Áreas agropecuarias	1317.0
	Áreas con sistemas agroforestales y cultivos	2242.8
	Áreas con sistemas silvopastoriles	9.6

Fuente: DGPT (2020)
Elaboración propia

Por otro lado, el equipamiento e infraestructura verde en el área de estudio se muestra en la Figura 18. Esta información de la DGPT (2020) se fundamenta en información de campo y en una fotografía aérea, está actualizada al año 2019 y el catastro incluye áreas urbanas verdes e instalaciones deportivas y de ocio tales como parques y plazas, mismas que ocupan cerca de 300 ha dentro del límite urbano de Cuenca, principalmente.

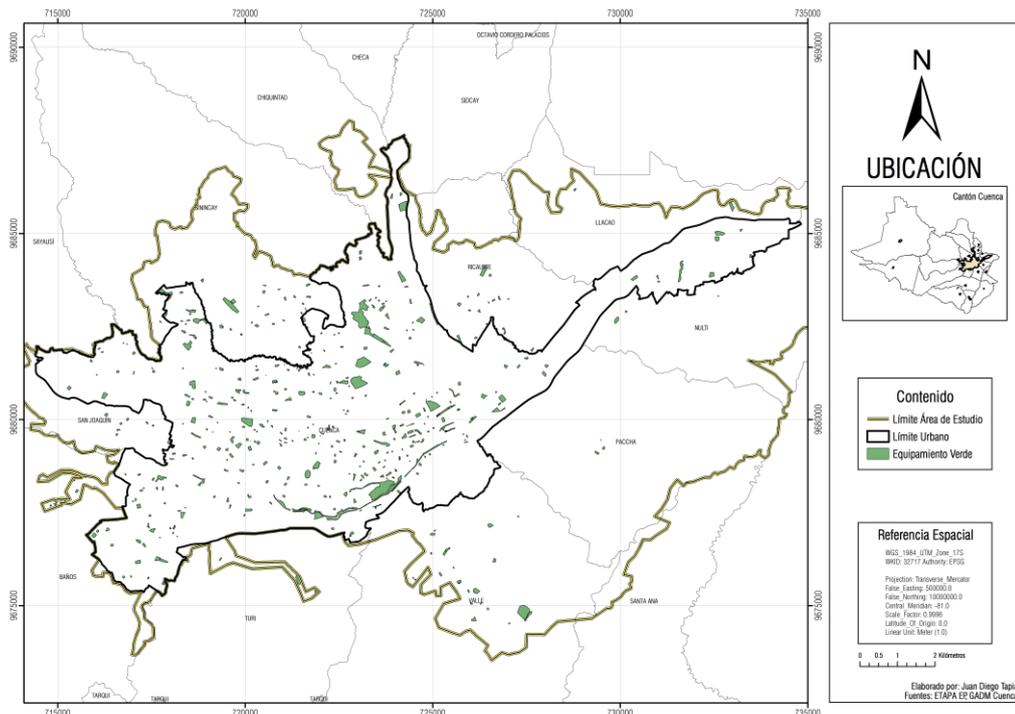


Figura 18. Catastro de equipamiento e infraestructura verde en el área de estudio.

Fuente: DGPT (2020)
Elaboración propia

Así, los espacios azules comprenden una superficie total de 2349.1 ha, distribuidos un 39% dentro del límite urbano y un 61% en la zona rural. Por otro lado, de la combinación de la información de la Figura 17 y de la Figura 18 se obtuvo que los espacios verdes cubren una superficie total de 8080.0 ha, distribuidos en un 9% dentro del límite urbano y en un 91% en la zona rural de Cuenca.

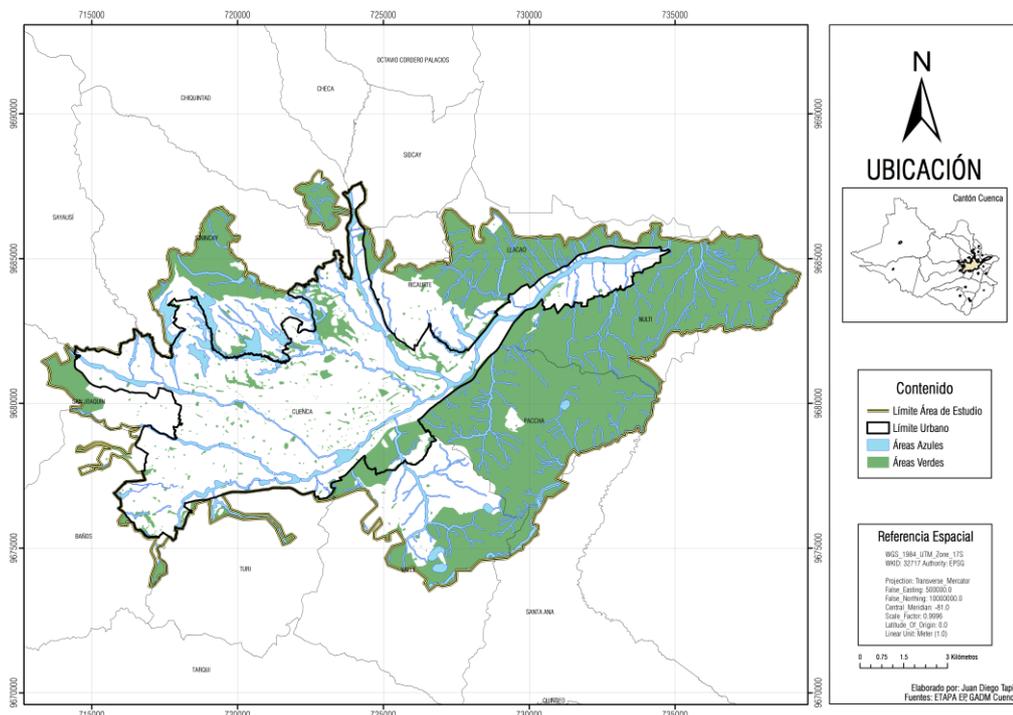


Figura 19. Áreas azules y áreas verdes en el área de estudio.

Fuente: DGPT (2020)

Elaboración propia

En el contexto descrito, el indicador 18 se calculó de manera ponderada, al considerar que la superficie del área de estudio dentro de su límite urbano representa el 39% del total. Tal como se muestra en la ecuación (35), el indicador parcial para la zona urbana resultó igual a 2.14 mientras que para la zona rural fue igual a 10, con un resultado final de 6.95.

$$\text{Indicador}_{18} = (2.14 * 0.39) + (10 * 0.61) = 6.95 \quad (35)$$

Una característica innata, que inclusive otorga el nombre a Santa Ana de los cuatro Ríos de Cuenca, es la abundancia de recursos hídricos superficiales que posee. Los ríos Tomebamba, Machángara, Yanuncay y Tarqui atraviesan el límite urbano de la ciudad y sus caudales se alimentan de un sinnúmero de quebradas y riachuelos existentes en el área de estudio, tal como se muestra en la Figura 19. La conservación y protección de estos recursos y de sus márgenes está respaldada en normativa nacional y local, la cual establece una zona de protección hídrica en la cual no se puede construir edificaciones. La normativa local fija, de manera explícita, una longitud de 15 a 30 metros (medidos desde cada orilla) como margen de protección para las quebradas y una longitud de 100 metros en el caso de los ríos, cuyos únicos usos permitidos son los equipamientos recreacionales que no supongan edificaciones

(p. ej. parques, plazas o canchas deportivas) y los usos agrícolas forestales. En este aspecto, la contribución de espacio azul y verde de los recursos hídricos superficiales en el área de estudio es destacable.

Por otra parte, la planificación del uso y ocupación del suelo fuera del límite urbano contribuye de manera importante a la proporción del espacio verde existente en el área de estudio. En estas zonas existen asentamientos habitacionales de baja densidad, en donde predomina la cobertura vegetal. En este aspecto, los procesos de urbanización futura con una planificación integral son fundamentales, reconociendo que las áreas de expansión urbana propuestas por el GADM implicarían una variación respecto a las condiciones actuales.

Por último, es importante destacar a las 300 ha de equipamiento e infraestructura verde en el límite urbano de Cuenca, representadas por más de 600 áreas verdes, equipamientos deportivos, parques, parques lineales y plazas.

19. Adaptación climática

En Ecuador, la Subsecretaría de Cambio Climático tiene la función de liderar las acciones de mitigación y adaptación, encargándose de proponer y diseñar políticas y estrategias para enfrentar los impactos del cambio climático. En este aspecto, esta entidad es responsable de facilitar la gestión para la implementación de la denominada Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) 2012-2025 desarrollada por el Ministerio del Ambiente.

La ENCC 2012-2025 se presenta como una herramienta para orientar una acción planificada e intersectorial frente a los desafíos que supone el cambio climático, considerando el marco político, normativo e institucional ecuatoriano. Una de las dos líneas estratégicas para su cumplimiento es la 'Adaptación al Cambio Climático', que tiene por objetivo general reducir la vulnerabilidad ambiental, económica y social. Esta línea estratégica incluye ocho objetivos específicos, todos los cuales consideran a los recursos hídricos como un aspecto de importancia fundamental para el cumplimiento de la visión propuesta por la ENCC. Es preciso destacar dos objetivos específicos: el primero en relación al manejo del patrimonio hídrico con un enfoque integral e integrado que permita asegurar la disponibilidad, uso sostenible y calidad del recurso hídrico para los diversos usos; y, el segundo en relación a la conservación y manejo sostenible del patrimonio natural y sus ecosistemas para contribuir con su capacidad de respuesta frente a los impactos del cambio climático. La ENCC establece planes de acción y metas para cada objetivo específico hacia el año 2025. Para información adicional sobre la ENCC referirse al documento publicado por el Ministerio del Ambiente (2012).

En cuanto a resultados, la 'Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático' del Ministerio del Ambiente (2017) relata que, en el marco de proyectos de adaptación liderados por distintas entidades a nivel nacional, se han identificado 17 medidas implementadas con un enfoque directo o indirecto hacia la GIRH. Las medidas han sido de carácter físico (p. ej. reforestación en orillas de ríos y zonas de captación y recarga y sistemas de control de inundaciones), de política pública (p. ej. inclusión de la variable de cambio climático en los PDOT y planes de manejo adaptativo

en sistemas de abastecimiento de agua potable), y, de tipo tecnológico (p. ej. sistemas de alerta temprana). No obstante, la mayoría de ellas se han realizado como planes piloto en comunidades rurales y no han tenido un alcance nacional. Por su parte, el Plan Nacional de Adaptación previsto para la implementación de la ENCC está todavía en desarrollo.

A nivel local, en el cantón Cuenca, la empresa ETAPA EP, a través de la Subgerencia de Gestión Ambiental (SGA) se ha planteado el objetivo de conservar y proteger los ecosistemas (y sus servicios) con enfoque principal en el abastecimiento de agua potable. Para ello, y en base a investigación, monitoreo y control, ha implementado, a lo largo de los años, varias medidas de adaptación climática en el marco de la escasez hídrica, así como de la protección de la ciudadanía frente a las inundaciones.

Conforme al sitio web de ETAPA EP (2020e), la educación ambiental se ha constituido como una de las principales medidas implementadas en el área de estudio. De acuerdo a ETAPA EP (2020b), a través del programa 'Agua para Todos' dirigido a las instituciones educativas urbanas, la empresa ha promovido la corresponsabilidad ciudadana sobre el correcto uso del agua desde el año 1998. Sus resultados para el período 2014 – 2019 se muestran en la Tabla 28, destacando que el programa actualmente abarca cerca del 99% de dichas escuelas.

Tabla 28. Resultados del programa urbano de educación ambiental 'Agua para Todos' – período 2014-2019.

Período	Escuelas	Estudiantes	Docentes	TOTAL
	[#]	[#]	[#]	[#]
2014	10	7796	269	8065
2015	21	11559	469	12028
2016	20	12346	553	12899
2017	20	8283	488	8771
2018	18	9187	358	9545
2019	19	14783	649	15432

Fuente: ETAPA EP (2020b)
Elaboración propia

Para el fomento de buenos hábitos, costumbres y una cultura de respeto hacia el recurso hídrico en la zona rural, ETAPA EP lleva adelante el programa 'Agua Vida' desde el año 2004. Este programa incluye la participación del 98% de escuelas rurales estratégicas del cantón, y, adicionalmente dispone de dos aulas móviles equipadas con material didáctico y lúdico para la sensibilización de estudiantes, docentes y padres y madres de familia respecto a la gestión sostenible y uso responsable del agua. Los resultados del programa para el período 2015 – 2019 se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29. Resultados del programa rural de educación ambiental 'Agua Vida' – período 2014-2019.

Período	Escuelas	Estudiantes	Docentes	TOTAL
	[#]	[#]	[#]	[#]
2014	18	599	25	624
2015	36	995	40	1035
2016	36	983	40	1023
2017	34	1190	43	1233
2018	31	1069	55	1124
2019	28	886	38	924

Fuente: ETAPA EP (2020b)
Elaboración propia

Por otro lado, como consta en el sitio web de ETAPA EP (2020e), otra de las medidas de adaptación impulsadas por la empresa ha sido el desarrollo y puesta en marcha, en el año 2017, de un sistema de alerta temprana de inundaciones que tiene por objetivo precautelar la integridad física de la población frente a estos fenómenos. Para ello, información de la red de monitoreo hidrometeorológico de ETAPA EP, la cual se compone de al menos 70 estaciones distribuidas en todo el cantón, alimenta en tiempo real al sistema, lo que permite emitir alertas de inundación entre 30 y 45 minutos antes de su ocurrencia. La cooperación interinstitucional con entidades responsables de la gestión de riesgos y de la seguridad ciudadana en el área de estudio ha derivado en la instalación de parlantes y cámaras de video en determinados sectores de las orillas de los principales ríos, lo que, en caso de una crecida repentina, permite alertar inmediatamente a las personas que podrían estar en riesgo. Cabe destacar que información de la red de monitoreo hidrometeorológico está disponible al público a través de una plataforma web (<https://geo.etapa.net.ec/monitoreoecohidrologico/>), en la cual se puede visualizar además información eco-hidrológica de los ríos del cantón Cuenca.

Finalmente, es preciso mencionar que, de acuerdo a ETAPA EP (2020c), las medidas de adaptación al cambio climático impulsadas por dicha empresa cuentan con un presupuesto anual que para el año 2019 ascendió a \$1,567,110.82 USD tal como se detalla en el estado de resultados de la Tabla 26.

En función de lo descrito, y acorde a los criterios de evaluación establecidos por el método CBF, el indicador 19, el cual refleja el nivel de acción en relación a las medidas de adaptación tomadas frente a las amenazas del cambio climático en el área de estudio, resultó igual a 10.

20. Consumo de agua potable

Los volúmenes de agua potable consumidos en el área de estudio en el período 2014 – 2019 se muestran en la Tabla 30. Estos volúmenes, expresados en miles de metros cúbicos por año (Mm³/año), corresponden a los consumos autorizados y facturados por la empresa ETAPA EP en cinco diferentes categorías: residencial, comercial, industrial, construcción y especial. En promedio, cada una de estas categorías representa el 79%, 11%, 2%, 1% y 7%, respectivamente, del consumo total de agua potable en el período de información disponible.

Tabla 30. Volúmenes anuales de agua potable consumidos en el área de estudio – período 2014-2019.

Período	Categorías de consumo					
	Residencial	Comercial	Industrial	Construcción	Especial	TOTAL
	[Mm ³ /año]					
2014	26806	2787	546	255	2014	32409
2015	26558	3075	493	321	2163	32611
2016	25696	3580	722	358	2291	32647
2017	25653	3880	760	389	2398	33081
2018	26432	4128	767	438	2507	34273
2019	26431	4180	726	435	2580	34352

Fuente: ETAPA EP (2020b)
Elaboración propia

Con estos datos, y, en base a información demográfica de ETAPA EP (2012) para el área de estudio, en la Tabla 31 se detallan los resultados obtenidos para el consumo anual per cápita de agua potable en el período 2014 – 2019. Si bien, a excepción de la categoría residencial, los consumos en todas las demás categorías han incrementado año tras año, el parámetro W_c ha ido disminuyendo, pues el consumo residencial es el de mayor representatividad.

Tabla 31. Consumo de agua potable autorizado per cápita en el área de estudio – período 2014-2019.

Período	Población beneficiaria	Consumo de Agua Potable	W_c
	[hab]	[Mm ³ /año]	[m ³ /hab/año]
2014	461861	32409	70.2
2015	474045	32611	68.8
2016	486749	32647	67.1
2017	498716	33081	66.3
2018	508858	34273	67.4
2019	521390	34352	65.9

Fuente: ETAPA EP (2020b)
Elaboración propia

En el contexto descrito, al considerar el valor promedio de W_c , en el período con información disponible, para el cálculo del indicador 20 según la ecuación (36), éste resultó igual a 8.99.

$$\text{Indicador}_{20} = \left(1 - \frac{67.6 - 45.2}{266 - 45.2}\right) * 10 = 8.99 \quad (36)$$

El consumo anual per cápita de agua potable en el área de estudio se aproxima al umbral bajo de referencia establecido por el método CBF. Su promedio para el período 2014-2019 es igual a 185.2 l/hab/día, y, si bien el indicador 20 es alto, acorde a lo descrito en la sección 6.1, un volumen de 100 l/hab/día sería suficiente para satisfacer todos los requerimientos de consumo e higiene de una persona. En tal razón, el consumo de agua potable de los habitantes en el área de estudio supera, por casi el doble, el valor referencial mínimo óptimo.

21. Edificios climáticamente robustos

Tal como se discutió para los indicadores 13 y 19, Ecuador ha desarrollado instrumentos de política que persiguen integrar criterios de gestión del cambio climático a distintos niveles de

gobierno con enfoque en diversos sectores económicos. Mientras que la Constitución de la República establece que el Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para mitigar sus efectos, el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2017 – 2021 (como instrumento al que se atan políticas, programas y proyectos públicos y está vinculado a la Agenda 2030) promueve una visión integral de la gestión de riesgos para reducir vulnerabilidades. Entre sus directrices y lineamientos territoriales, las cuales persiguen la cohesión territorial con sostenibilidad ambiental, se incluyen el implementar sistemas constructivos seguros y energéticamente eficientes en zonas de exposición a amenazas naturales o antrópicas, el construir ciudades verdes y resilientes, y, el promover buenas prácticas ambientales y de diseño urbanístico como medidas de adaptación y mitigación al cambio climático. Por su parte, la línea estratégica de adaptación de la ENCC 2012 – 2025 incluye entre sus objetivos específicos el iniciar acciones para que la infraestructura del país no se vea afectada por los efectos del cambio climático, así como el implementar medidas para incrementar la capacidad de respuesta de los asentamientos humanos para enfrentarlos.

En este aspecto, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable ha planteado acciones y estrategias enfocadas a la eficiencia energética en edificaciones, lo que permitió que en el año 2011 se incluya un capítulo afín en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). La NEC recoge una serie de normativas, de cumplimiento obligatorio a nivel nacional, en las que se establecen los requisitos mínimos de seguridad y calidad para las edificaciones en el país. Así, el capítulo ‘Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales’, el cual forma parte del eje de Habitabilidad y Salud, establece los lineamientos para optimizar el consumo energético que asegure el confort térmico de la población en función del clima local, dictando además una serie de criterios sobre factores tales como el confort lumínico, la gestión y las limitaciones de demanda energética y la eficiencia de las instalaciones activas.

En relación a ello, la Ley Orgánica de Eficiencia Energética hace mención al establecimiento de un proceso de evaluación de cumplimiento y calificación sobre el consumo energético de las edificaciones nuevas, remodeladas y rehabilitadas, el cual deberá implementarse como parte de una normativa en el ámbito de la eficiencia energética en la construcción, de manera que un promotor inmobiliario esté en la capacidad de informar sobre la calificación energética de las edificaciones en venta y sus beneficios potenciales. Empero, a la fecha, dicho proceso de evaluación no ha sido establecido y tampoco se han publicado reglamentos específicos a la ley, recordando que ésta exhorta a los GADM del país a implementar acciones y medidas para el cumplimiento del PLANEE 2016 – 2035.

No obstante, a nivel local, de acuerdo a lo informado por la DGPT (2020), entidad del GADM a cargo de temas de planeamiento urbanístico, obra pública e infraestructura en el área de estudio, actualmente no existe una política vigente en el cantón Cuenca respecto a la robustez climática de sus edificaciones, existentes o proyectadas. Empero, como parte del PUGS 2019 – 2030, la DGPT está manejando la posibilidad de aplicar un instrumento de gestión del suelo denominado ‘Concesión Onerosa de Derechos’.

Este instrumento está incluido en la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo (LOOTUGS), es aplicado actualmente en la ciudad de Quito, y persigue garantizar la participación de la sociedad en los beneficios económicos producidos por la planificación urbanística y el desarrollo urbano en general. Así, como resultado de inversiones públicas en infraestructura o debido a modificaciones en la clasificación del suelo o de su uso y ocupación, las cuales mejoren el aprovechamiento en lotes privados, los GADM están facultados para exigir a los propietarios de los predios o a los promotores inmobiliarios un pago por el incremento del valor del suelo. Con estos antecedentes, la DGPT se encuentra analizando la posibilidad de aplicar mecanismos de evaluación y certificación de eco-eficiencia en las edificaciones de Cuenca, con lo cual se garantice un beneficio para su población, y así que éste sirva como un pago de contraprestación otorgado a cambio del beneficio de un mayor aprovechamiento en proyectos inmobiliarios en el área de estudio.

En consideración de lo expuesto, de acuerdo a la existencia y el grado de implementación de las políticas vigentes respecto a la promoción de la eficiencia energética en las edificaciones, tanto a nivel nacional y local, y, conforme a los criterios de evaluación del método CBF, el indicador 21 resultó igual a 4.

3.7 Categoría VII: Gobernanza

22. Gestión y planes de acción

Como ya se había mencionado, el marco constitucional ecuatoriano garantiza el derecho humano al agua y establece al Estado como responsable de la planificación y gestión integral, integrada y participativa de los recursos hídricos en el país. Así también, la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua dicta que la Autoridad Única del Agua, actualmente el Ministerio del Ambiente y Agua, es la entidad a cargo de la GIRH en Ecuador, la cual tendrá un enfoque ecosistémico y por cuenca o sistemas de cuencas hidrográficas y será coordinada con los diferentes niveles de gobierno según sus ámbitos de competencia. De acuerdo a la normativa vigente, la gestión de cuencas hidrográficas es competencia de los GAD Regionales, mientras que los GAD Municipales son responsables de la prestación de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos y actividades de saneamiento ambiental.

En este marco, en el año 2014 el Estado ecuatoriano creó la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) con el objetivo de ejercer la regulación y control de la gestión integral e integrada del recurso hídrico, de la cantidad y calidad en sus fuentes y zonas de recarga, de la calidad de los servicios públicos relacionados y en todos sus usos y aprovechamientos en el país. En dicho año creó también la Empresa Pública del Agua (EPA), con la misión de fortalecer la GIRH a través de la contratación, administración y supervisión de los proyectos nacionales de infraestructura hídrica, para además brindar asesoría técnica y comercial a los prestadores de servicios públicos y comunitarios de agua.

El gobierno ha impulsado también el desarrollo del Plan Nacional de Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos de las Cuencas y Microcuencas Hidrográficas de Ecuador

(PNGIRH) 2016 – 2035. De acuerdo a Yáñez, Franco, Bastidas, & Córdova (2017) dicho plan busca la resolución del conflicto oferta – demanda del recurso hídrico en el país, garantizando la vida, la soberanía alimentaria y el consumo industrial, tiene como año base al 2010, y programa fases, a corto (2015 – 2025), mediano (2026 – 2030) y largo (2031 – 2035) plazo, para su implementación. El PNGIRH involucra la ejecución de medidas estructurales y no estructurales para el control de inundaciones y alivio de desastres; suministro y uso de agua de buena calidad, y, protección y conservación de agua y suelo. Según Yáñez et al. (2017), bajo condiciones de desarrollo económico normal, el PNGIRH proyecta la ejecución de 176 planes de asignación de recursos hídricos, 13 sistemas de control de inundaciones, 265 áreas de protección para fuentes de agua potable y 7,834.65 km² para el control de la erosión, a lo largo del territorio ecuatoriano. No obstante, la socialización del PNGIRH a nivel nacional ha sido muy escasa, recalando que el documento no es fácilmente accesible al público en general.

Es importante mencionar que, históricamente, los planteamientos político – administrativos en torno al sector hídrico en Ecuador han sido bastante erráticos, pasando por un sinnúmero de adaptaciones, cambios y reformas, la última de ellas ejecutada en el año 2020, como parte de un proceso de optimización y austeridad del gasto público.

Por otro lado, conforme a la ley vigente, los GADM deben sujetarse a la planificación hídrica local, y su población debe adecuar su actuación a lo establecido en ella sobre la utilización y protección del agua. En este aspecto, y conforme a lo que se ha discutido, la empresa ETAPA EP, por delegación del GADM Cuenca, se erige como la principal entidad promotora de la GIRH en el área de estudio. De acuerdo a ETAPA EP (2020e) la empresa es pionera en el país en asegurar la GIRH, concepto entendido por ésta como la integración varios procesos: i) protección y conservación de fuentes y zonas de recarga hídrica; ii) captación y potabilización mediante modernos procesos de tratamiento; iii) distribución de alta calidad; iv) recolección de caudales residuales a través del sistema de alcantarillado; y, v) saneamiento en una PTAR para garantizar la devolución del recurso hídrico a la naturaleza en óptimas condiciones. Para ello la empresa ETAPA EP promueve diferentes programas y proyectos en cada una de las líneas de acción que comprenden su visión de la GIRH.

Por ejemplo, el Programa de Manejo Integrado de Cuencas para la Protección de Fuentes de Agua (MICPA), establecido en el año 1984, tiene por objetivo proteger las fuentes de agua de consumo humano a través de un proceso de negociación con las y los actores de las cuencas hidrográficas en el área de estudio. Entre los instrumentos del MICPA están los denominados ‘Acuerdos Mutuos por el Agua’, los cuales son acuerdos voluntarios con las y los propietarios de predios ubicados en áreas de recarga hídrica con el objetivo de conservar los ecosistemas, recuperar la vegetación ribereña e implementar mejores prácticas agrícolas. Así también, el MICPA implica la ‘Conservación de Áreas Estratégicas’ mediante la compra de predios identificados como de alto rendimiento hídrico, los cuales se ubican en las cuencas altas de los ríos del área de estudio. Según ETAPA EP (2020b), al año 2020 la empresa es propietaria

de aproximadamente 19,000 ha en zonas de recarga hídrica, las cuales sumadas a más de 30,000 ha que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, y, en conjunto con los programas de educación y sensibilización ambiental, evidencian los esfuerzos de la empresa respecto a esta línea de acción.

En cuanto a los sistemas de abastecimiento y distribución de agua potable en el área de estudio, así como al sistema de recolección y tratamiento de caudales residuales, varios de los indicadores calculados de momento han explorado sus particularidades, así como los compromisos actuales, sus limitaciones y los planes de acción futuros de ETAPA EP como empresa a cargo de la provisión de estos servicios públicos.

Por su parte, a través del PUGS 2019 – 2030, el GADM Cuenca está impulsando la creación de Áreas de Conservación y Uso Sostenible (ACUS) en el cantón, con el objetivo de promover la protección ecosistémica a través del otorgamiento de una categoría oficial de conservación a áreas estratégicas de biodiversidad, paisaje, recarga hídrica, particularidades geológicas, servicios ambientales. Para ello, en coordinación con ETAPA EP, el GADM Cuenca se encuentra desarrollando un proyecto de ley específico para la 'Protección de Fuentes Hídricas, el Aire Puro y la Biodiversidad', el cual permitirá gestionar la conservación de áreas de protección hídrica con la finalidad de garantizar la provisión de agua para las y los habitantes del cantón Cuenca, a través de una participación interinstitucional de entidades locales, regionales y nacionales.

Con fundamento en el contexto descrito en relación al grado de aplicación del concepto de la GIRH tal como es entendida por la empresa ETAPA EP en el área de estudio, y, según los criterios de evaluación del método CBF, el indicador 22 resultó igual a 10.

23. Participación Pública

En el año 2010 Ecuador expidió la Ley Orgánica de Participación Ciudadana, la cual, según al Registro Oficial (2010), tiene el objetivo de propiciar, fomentar y garantizar el ejercicio de los derechos de participación de las y los ciudadanos en los procesos de toma de decisiones de una manera protagónica. Así también, persigue la institución de mecanismos, instrumentos y procedimientos de deliberación pública entre el Estado, sus diferentes niveles de gobierno y la sociedad civil, para, entre otros aspectos, permitir el seguimiento de las políticas públicas y la prestación de servicios públicos. En dicha ley se reconoce al trabajo voluntario como una forma de participación pública con independencia y autonomía, recalcando que sus distintas manifestaciones no podrán constituirse en mecanismos de precarización del trabajo, formas ocultas de proselitismo político, ni afectar los derechos de la ciudadanía.

Por su parte, el INEC (2020) ha publicado las Cuentas Satélite del Trabajo No Remunerado de los Hogares (CSTNRH) del país, las cuales son un conjunto de estadísticas de síntesis que permiten indagar las actividades domésticas, de cuidado y de apoyo a la comunidad que no reciben ningún tipo de compensación económica. Las CSTNRH exploran tres grupos de actividades: i) trabajo de cuidado no remunerado a miembros del hogar; ii) trabajo doméstico no remunerado para el propio hogar; y, iii) trabajo no remunerado para otros hogares, para la

comunidad y trabajo voluntario en instituciones sin fines de lucro. En la Tabla 32 se muestra el detalle de la producción económica de esta última categoría en el período 2013 – 2017. No obstante, el objetivo de las CSTNRH es la valoración económica (y desde una perspectiva de género) de este trabajo, razón por la cual no detalla el porcentaje de personas involucradas.

Tabla 32. Producción del Trabajo No Remunerado voluntario en Ecuador – período 2013-2017.

Período	TNR para la comunidad	TNR para otros hogares	TNR voluntario en instituciones	TOTAL
	[USD]	[USD]	[USD]	[USD]
2013	\$ 115,408	\$ 83,269	\$ 312,322	\$ 510,999
2014	\$ 117,010	\$ 96,916	\$ 321,488	\$ 535,414
2015	\$ 107,941	\$ 103,118	\$ 323,664	\$ 534,723
2016	\$ 101,345	\$ 87,962	\$ 284,814	\$ 474,121
2017	\$ 97,431	\$ 98,827	\$ 309,166	\$ 505,424

Fuente: INEC (2020)
Elaboración propia

En razón de que información específica no está disponible, el porcentaje de participación pública en Ecuador se aproximó a partir del índice de Estado de Derecho. Los valores del I_{ED} para el país, en el período 2016 – 2020, reportados por el WJP, se muestran en la Tabla 33.

Tabla 33. Índice de Estado de Derecho para Ecuador – período 2016-2020.

Período	I_{ED}
2016	0.43
2017	0.47
2018	0.47
2019	0.47
2020	0.49

Fuente: Banco Mundial (2020c) & World Justice Project (2020b)
Elaboración propia

Según el World Justice Project (2020b), con el I_{ED} del año 2020, Ecuador alcanzó la posición número 86 en un ranking global que incluyó a 126 países, escalando tres puestos respecto al año 2019. Así, al considerar el último dato disponible, el porcentaje de participación pública se aproximó como se muestra en la ecuación (37) y resultó igual a 9.93.

$$PP = 0.6573 \cdot 49 - 22.278 = 9.93 \quad (37)$$

A pesar de que el porcentaje obtenido pueda parecer representativo, es preciso mencionar que la participación pública en el país no es parte de la idiosincrasia de su población, pues, de acuerdo al INEC (2008), las personas no están acostumbradas a participar en ningún tipo de organización, sea ésta, comunitaria, sindical o política.

Finalmente, conforme al método CBF el indicador 23 se calculó según la ecuación (38) y resultó igual a 1.03, corroborando que la participación pública en el país es ejercida por una

ínfima proporción de su población a pesar de su importancia en los procesos de gobernanza a todo nivel.

$$\text{Indicador}_{23} = \left(\frac{9.93 - 5}{53 - 5} \right) * 10 = 1.03 \quad (38)$$

24. Medidas de eficiencia hídrica

En congruencia con la Constitución de la República, la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua establece que uno de los principios de la GIRH en Ecuador será la prestación del servicio de agua potable de manera eficiente. En su artículo 84 indica además que es una obligación de corresponsabilidad del Estado, de sus niveles de gobierno y de la ciudadanía, el identificar y promover tecnologías para mejorar la eficiencia en el uso del agua, así como reducir su desperdicio, instando al desarrollo y fomento de la investigación científica y tecnológica en el ámbito hídrico.

Por su parte, la Estrategia Nacional de Calidad del Agua (ENCA) 2016 – 2030 impulsada por la Secretaría del Agua (2016) en el contexto de la Agenda 2030, detalla que el uso ineficiente del recurso hídrico para consumo humano y doméstico en el país demuestra la falta de cultura del agua en la población. Por ello, con el objetivo de mejorar y proteger la calidad de los recursos hídricos, sus ecosistemas, la calidad de vida y la seguridad alimentaria, uno de los ejes de la ENCA 2016 – 2030 se centra en la concienciación y sensibilización del uso responsable y eficiente del agua, con en el involucramiento de las instituciones competentes en la calidad del agua, así como de las empresas proveedoras del servicio.

En este aspecto, tal como se detalló para el indicador 19, los programas de educación y sensibilización ambiental de la empresa ETAPA EP, tanto en la zona urbana como rural del área de estudio, han tenido como uno de sus principales objetivos el promover la corresponsabilidad ciudadana sobre el correcto uso del agua. Al fomentar en las instituciones educativas hábitos, costumbres y una cultura de respeto hacia los recursos hídricos, la empresa ha buscado la transmisión de esta visión hacia los hogares y su reflejo en toda la ciudadanía. Los resultados de estos programas se muestran en la Tabla 28 y en la Tabla 29.

Por otra parte, aprovechando el potencial de comunicación y marketing que ofrecen las redes sociales, desde el año 2019, la empresa ETAPA EP promociona las campañas denominadas #CuidaTuAgua y #CuencaCierraLaLlave, a través de las cuales insta a la ciudadanía en el área de estudio a colaborar en la eficiencia hídrica doméstica al fomentar la adopción de comportamientos cotidianos que permitirían reducir el consumo de agua en los hogares. Las campañas impulsan conductas tales como: cerrar el grifo al cepillarse los dientes, tomar duchas cortas, revisar las fugas domiciliarias, no lavar el auto con manguera, recoger agua lluvia para regar los jardines, etc., promoviendo además los beneficios de disponer de un medidor de agua, así como los de la instalación y uso de aparatos sanitarios más eficientes. Por medio de las redes sociales ETAPA EP comunica también, en tiempo real, la detección de altos consumos en los sectores de abastecimiento del área de estudio. En la Figura 20 se muestran algunas de las imágenes promocionales de las campañas en mención.



Figura 20. Imágenes promocionales de las campañas #CuidaTuAgua y #CuencaCierraLaLlave. Fuente: ETAPA EP (2020d)

En este contexto, de acuerdo a ETAPA EP (2020b), el consumo de agua potable de la categoría residencial en el área de estudio ha disminuido en cerca de 20 l/hab/día en los últimos seis años, al pasar de 161 l/hab/día en el año 2014 a 141 l/hab/día en el año 2019. Si bien dicho consumo residencial per cápita todavía supera el umbral óptimo de 100 l/hab/día, tal como se muestra con la línea punteada en la Figura 21, la magnitud de la brecha excedente cada año se reduce. Empero, si bien la disminución descrita podría correlacionarse con los programas y campañas de ETAPA EP, aquello no implica necesariamente su causa.

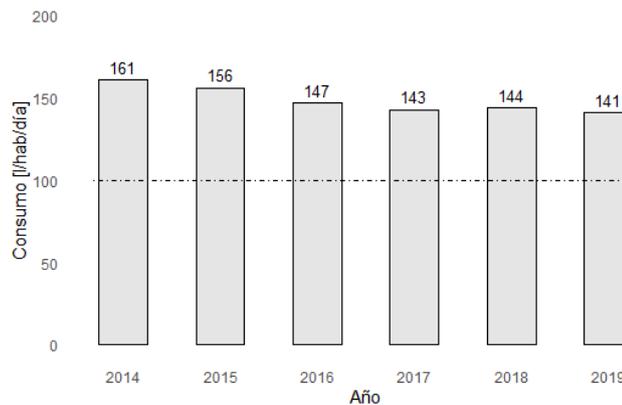


Figura 21. Consumo de agua potable de la categoría residencial en el área de estudio – período 2014-2019. Fuente: (ETAPA EP, 2020b) Elaboración propia

En relación a lo anterior, según el colectivo CCCV (2017) si bien el 87% de la población en el área de estudio reconoce utilizar el agua en la cantidad estrictamente necesaria, en el ámbito de medidas de eficiencia hídrica únicamente el 55% de la población dice revisar las fugas intra-domiciliarias y apenas el 29% acostumbra lavar su vehículo utilizando un balde en lugar de una manguera.

En este aspecto, de acuerdo al INEC (2019), durante el período 2014 – 2018 las prácticas de ahorro de agua más comunes en los hogares ecuatorianos fueron: cerrar la llave al jabonar los platos, cepillarse los dientes o bañarse (90.9%), tomar duchas cortas (74.6%), revisar el estado de las tuberías de manera regular (57.0%), utilizar un balde en lugar de manguera para ciertas actividades como lavar el automóvil (52.9%), y, reusar el agua (40.2%). Según el INEC (2019) estas medidas de eficiencia no han mostrado una variación significativa en los cinco años de información disponible. En contraste, el porcentaje de hogares ecuatorianos que instaló dispositivos sanitarios eficientes ha presentado un incremento gradual durante este período con un promedio de 12.7% que dispone de economizadores de chorro y un 11.7% que dispone de un inodoro de doble descarga, tal como se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34. Hogares ecuatorianos que tienen dispositivos de ahorro de agua – período 2014-2018.

Práctica	2014	2015	2016	2017	2018
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Habitualmente - disponen de economizadores de chorro	9.4%	10.9%	12.6%	12.8%	17.8%
Habitualmente - disponen de inodoro doble descarga / botella de agua dentro del tanque	7.0%	9.8%	12.0%	10.0%	19.4%

Fuente: INEC (2019)
Elaboración propia

Si bien se reconoce la existencia de un marco normativo nacional, la implementación de programas para la promoción de la eficiencia hídrica doméstica a nivel local no es explícita ni muestra una articulación sólida y sus resultados no se comunican de manera clara. Por lo tanto, de acuerdo a los criterios de evaluación propuestos por el método CBF, el indicador 24 resultó igual a 6.5.

25. Atractivo

La historia geológica y evolución natural han resultado en una configuración estructural y morfológica que ofrece un paisaje particular y sin precedentes al área de estudio. La belleza paisajística y escénica de Santa Ana de los cuatro Ríos de Cuenca presenta excepcionales características y se define, entre otros aspectos, por su abundancia de recursos hídricos, los cuales tienen su origen en los ecosistemas alto-andinos que rodean al valle en el que la ciudad se sitúa. En este aspecto, de acuerdo a la 'Tercera Encuesta de Percepción Ciudadana de la Calidad de Vida en Cuenca', cuya base de datos original ha sido publicada por el Colectivo Cuenca Ciudad para Vivir (2015), los ríos han sido identificados por la ciudadanía encuestada como la característica que más identifica al área de estudio, superando a su gastronomía, centro histórico, arquitectura y artesanía.

Por otro lado, Cuenca es considerada como uno de los principales destinos turísticos del Ecuador, habiendo recibido varios reconocimientos internacionales en este ámbito. Según la Fundación Municipal Turismo para Cuenca (2020), dichos reconocimientos incluyen: ciudad número uno para visita y estadía en Latinoamérica otorgado por la Stern Magazine en el año 2008; mejor lugar en el mundo para retirados otorgado por International Living en los años 2009, 2010, 2011 y 2013; mejor lugar del extranjero para norteamericanos retirados otorgado por CNN Money en el año 2012; ciudad número uno en la lista del Foreign Direct Investment sobre mejores ciudades del futuro en cuanto a costo-beneficio en el año 2013; entre otros.

En relación a ello, según el Grupo de Investigación en Economía Regional (2019) (GIER), durante los años 2017 y 2018, los atractivos naturales del área de estudio se ubicaron entre las dos principales razones del turista extranjero para determinar su elección de Cuenca como destino turístico, calificándolos además como excelentes según su percepción de calidad. En lo que respecta al turista nacional, la naturaleza fue la tercera causa que motivó su elección del área de estudio como destino de visita. Así también, de acuerdo al GIER, la naturaleza y el ambiente (incluyendo a los ríos y zonas verdes) se erigieron como el tercer factor que causó mayor impresión en las y los turistas que visitaron Cuenca.

Con estos antecedentes, ya que el espacio azul característico del área de estudio se instituye como un factor de destacada importancia tanto para sus habitantes como para las y los turistas que la visitan, y, conforme al criterio de evaluación del método CBF, el indicador 25 resultó igual a 10.

3.8 Índice Blue City Index

La Tabla 35 muestra los valores obtenidos para cada uno de los 25 indicadores de las siete categorías del método CBF. Únicamente cuatro indicadores resultaron iguales a cero, tres de los cuales pertenecen a una misma categoría, Tratamiento de aguas residuales. Por su parte, tres indicadores alcanzaron la máxima puntuación, uno de la categoría Robustez climática y dos de la categoría Gobernanza.

Tabla 35. Resultados de los 25 indicadores del método CBF para el área de estudio.

Categoría	Indicador	Valor
I. Calidad del agua	1. Tratamiento secundario de aguas residuales	9.04
	2. Tratamiento terciario de aguas residuales	9.04
	3. Calidad del agua subterránea	4.83
II. Tratamiento de desechos sólidos	4. Desechos sólidos recolectados	9.62
	5. Desechos sólidos reciclados	0.74
	6. Energía recuperada de los desechos sólidos	0.00
III. Servicios básicos de agua	7. Acceso a agua potable	9.71
	8. Acceso a saneamiento	9.04
	9. Calidad del agua potable	9.40
IV. Tratamiento de aguas residuales	10. Recuperación de nutrientes	0.00
	11. Recuperación de energía	0.00
	12. Reciclaje de lodos	0.00
	13. Eficiencia energética del tratamiento de aguas residuales	2.00
V. Infraestructura	14. Separación de caudales pluviales	2.77
	15. Antigüedad promedio del sistema de alcantarillado	7.40
	16. Fugas en los sistemas de agua	3.94
	17. Recuperación de costos operativos	4.20
VI. Robustez climática	18. Espacio azul y verde	6.95
	19. Adaptación climática	10.00
	20. Consumo de agua potable	8.99
	21. Edificios climáticamente robustos	4.00
VII. Gobernanza	22. Gestión y planes de acción	10.00
	23. Participación pública	1.03
	24. Medidas de eficiencia hídrica	6.50
	25. Atractivo	10.00

Elaboración propia.

En este contexto, al calcular la media geométrica de los resultados de los indicadores del área de estudio, el índice BCI resultó igual a 5.4. Conforme a la categorización de niveles de sostenibilidad de la GIRH propuesta por el método CBF, el área de estudio correspondería a una 'ciudad eficiente en agua', cuya descripción general se detalla en la Tabla 2.

Adicionalmente, los resultados del método CBF para el área de estudio se resumen en el gráfico radial de la Figura 22, a continuación.

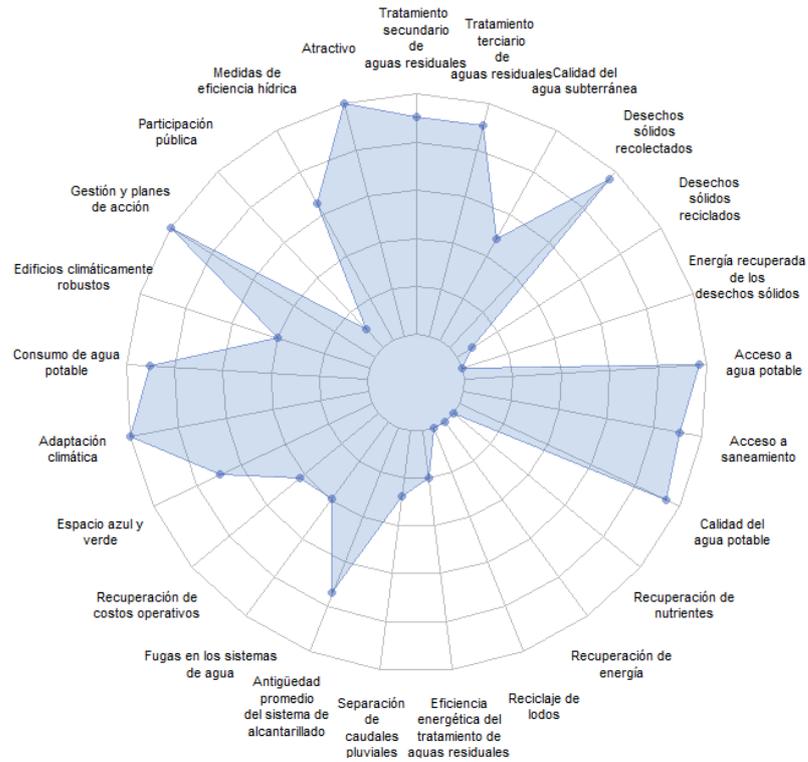


Figura 22. Resultados de los 25 indicadores del método CBF para el área de estudio.
Elaboración propia

Asimismo, el gráfico radial de la Figura 23 muestra, para las siete categorías del método CBF, el promedio de los resultados de los indicadores correspondientes a cada una de ellas.

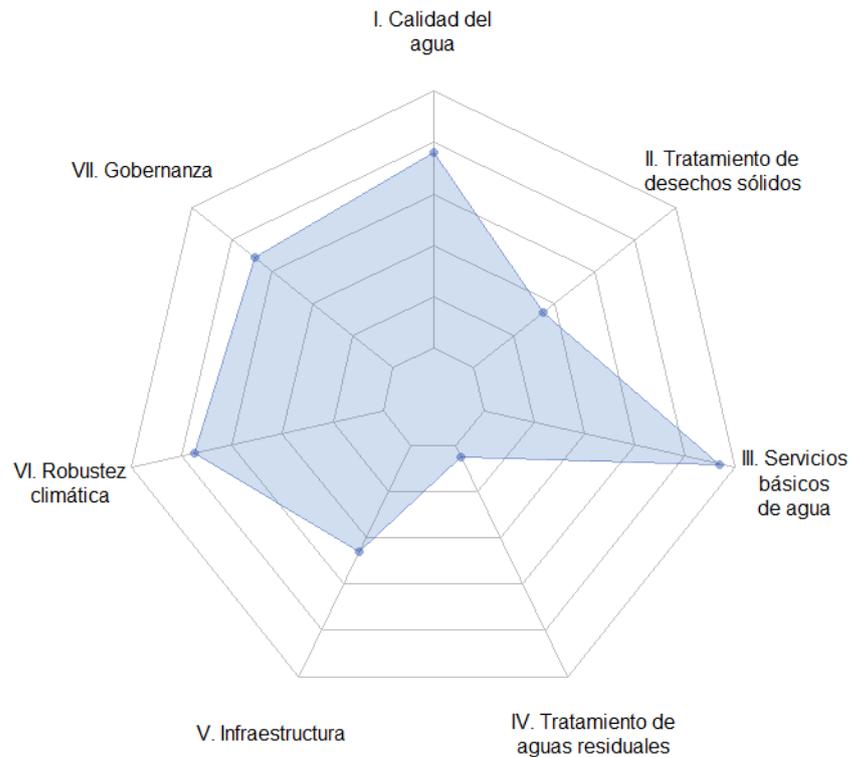


Figura 23. Promedio de los indicadores para cada categoría del método CBF para el área de estudio.
Elaboración propia

3.9 Discusión de los resultados

Como se observa en la Figura 23, en el área de estudio, cuatro categorías en el ámbito de la GIRH muestran, en promedio, resultados que podrían considerarse como prometedores en lo que respecta a su sostenibilidad y resiliencia en función del desempeño actual exhibido. En contraste, tres categorías estarían relegadas al exponer su debilidad en cuanto al abordaje integral de los complejos desafíos inherentes al sector hídrico.

En relación a la categoría I. Calidad del agua, el actual sistema de saneamiento del área de estudio, el cual es producto de una planificación técnica de largo plazo, contribuye en gran medida al elevado promedio resultante de sus indicadores (segundo más alto). Por su parte, la calidad de agua subterránea inferida para la región disminuye el promedio de la categoría I, precisando que para su cálculo se utilizó información a escala nacional. Empero, ya que diversas entidades locales y nacionales están actualmente investigando el sistema acuífero existente en la región, una vez que sus resultados sean publicados, sería imperativo actualizar el valor de este indicador.

Por otro lado, si bien la cobertura de recolección de desechos sólidos en el área de estudio es del 100%, además de que la tasa de generación de desechos domiciliarios es una de las más bajas, tanto a nivel nacional como a nivel de América Latina y El Caribe, el promedio de los indicadores de la categoría II. Tratamiento de desechos sólidos, se ve seriamente afectado tanto por su nula valorización energética, así como por estrategias y propuestas en el ámbito de su reciclaje que serían insuficientes, a pesar de que determinados aspectos puedan ser destacables y presenten potencial de desarrollo para una mejor gestión.

El promedio de los indicadores de la categoría III. Servicios básicos de agua, es, por su parte, el mayor alcanzado por cualquier categoría. Esta situación es resultado de que, en el área de estudio, la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado se ha mantenido a la par de la creciente demanda tanto en la zona urbana como rural de Cuenca. Así también, la calidad del agua distribuida es una de las principales y más notables fortalezas de la empresa proveedora de este servicio público.

Al contrario, la categoría IV. Tratamiento de aguas residuales, es la categoría con el peor promedio para sus indicadores. Como ya se mencionó, tres de ellos resultaron iguales a cero, pues la PTAR en operación en el área de estudio no considera técnicas para la recuperación ni de los nutrientes ni de la energía del caudal afluente. En este mismo aspecto, los lodos producto del tratamiento, luego de un proceso de adecuación, son simplemente depositados en un relleno sanitario. Tan sólo el limitado abordaje de la eficiencia energética para el tratamiento de caudales residuales identificado en la normativa nacional vigente, así como la incipiente planificación en este ámbito a nivel local permitió la puntuación de un único indicador en esta categoría, la cual resulta sumamente débil y de baja resiliencia.

En lo que respecta a la categoría V. Infraestructura, la antigüedad aproximada para el sistema de alcantarillado es el único factor que incrementa su promedio, a pesar de que el período de diseño de sus redes podría ya haberse alcanzado, más no su vida útil. Así también, sumado

al predominio de redes de alcantarillado de tipo combinado en el área de estudio, el porcentaje de fugas en los sistemas de abastecimiento de agua potable, que, si bien muestra valores acordes a las proyecciones de la empresa proveedora, afecta el rendimiento de la categoría. Adicionalmente, la sostenibilidad económica – financiera de dicha empresa es un aspecto a tener en especial consideración, pues la recuperación de costos operativos, aunque no es crítica, tampoco podría entenderse como sólida.

La categoría VI. Robustez climática incluye un indicador con puntuación máxima como resultado de los programas y medidas implementados en el ámbito de la adaptación por la empresa que impulsa la GIRH en Cuenca. Así también, el promedio de la categoría se ve incrementado debido a que el consumo per cápita de agua potable se acerca al umbral bajo de referencia del método, y, también, gracias a la alta proporción de espacios azules y verdes en el área de estudio, sobre todo, en su zona rural. Empero, la falta de una política local que promueva la robustez climática de las edificaciones, a pesar de la existencia, aunque inconsistente, de un marco normativo nacional, afecta el promedio de esta categoría.

La categoría VII. Gobernanza por su parte también dispone de dos indicadores con máxima puntuación como resultado del grado de aplicación del concepto de la GIRH en el área de estudio, así como gracias al atractivo y potencial turístico inherente a sus recursos hídricos. Sin embargo, la falta de articulación y explicitud respecto a la implementación de medidas de eficiencia hídrica, pero, sobre todo, la casi nula participación pública inferida, disminuyen en gran medida el promedio de la categoría VII.

Finalmente, de acuerdo a la información publicada por Feingold et al. (2018), con el índice obtenido (BCI = 5.4), Cuenca se ubica en la posición número 28 entre 61 municipios y regiones a nivel mundial para las cuales se ha calculado este índice, tal como se muestra en la Figura 24.

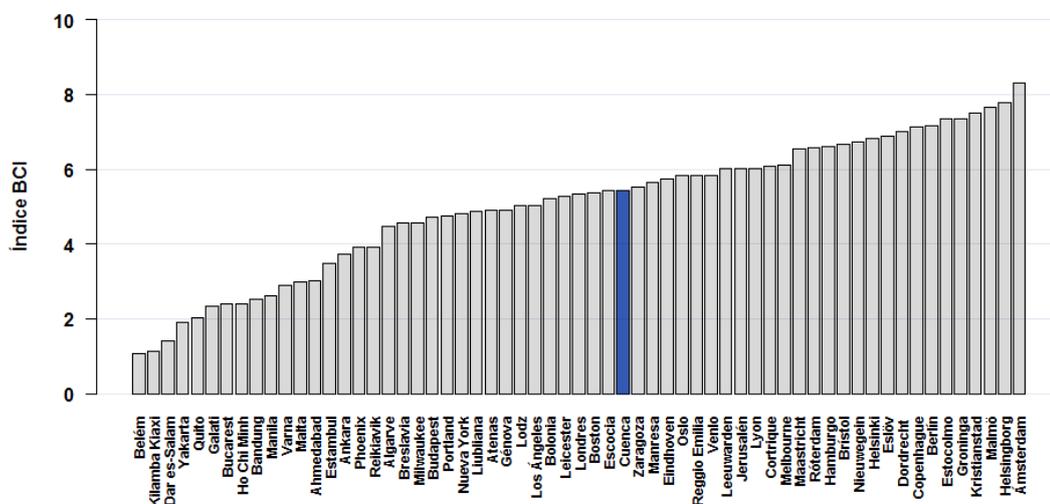


Figura 24. Resultados del índice BCI para 61 municipios y regiones de más de 30 países diferentes.
El índice BCI para el área de estudio se encuentra resaltado en color azul.

Fuente: Feingold et al. (2018)
Elaboración propia

Cabe mencionar que, de la Figura 24, además del área de estudio, únicamente Belém (Brasil) y Quito (Ecuador) pertenecen a América Latina, recalcando que dichas ciudades acogen a poblaciones mayores al millón y medio de habitantes. Para Belém el índice BCI es igual a 1.1 y para Quito es igual a 2.0, siendo estos valores, el más bajo y el quinto más bajo de toda la serie respectivamente. Conforme al índice BCI obtenido, se destaca el buen desempeño mostrado por Cuenca en el ámbito de la sostenibilidad de la GIRH, más aún al considerar a otras ciudades de la región, e inclusive, a la capital de su país.

Para finalizar, según el valor del índice BCI, el nivel de sostenibilidad de la GIRH en el área de estudio corresponde a una 'ciudad eficiente en agua'. No obstante, la descripción general del método se ajusta a ciertos aspectos detallados en esta sección, pero también se aleja de otros, especialmente en lo relacionado al consumo de agua, a la valorización energética de las aguas residuales y de los desechos sólidos, y, al espacio azul y verde.

4. Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la sostenibilidad de la GIRH en una ciudad de un país de América Latina caracterizado por su abundancia de recursos hídricos, así como por un planteamiento constitucional innovador que ha apostado por un modelo de Estado sostenible, responsable de la planificación y gestión del agua. El área de estudio, Cuenca, se destaca, entre otros aspectos, por las altas tasas de cobertura de sus servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento, realidad concerniente a la gestión de una empresa municipal en operación desde hace más de medio siglo y que se ha erigido como la principal entidad promotora de la GIRH a nivel local.

Para la evaluación propuesta se aplicó un método desarrollado específicamente para aquello, el cual ha sido empleado en más de 70 municipios y regiones en casi 40 países a nivel mundial. Este método se fundamenta en el cálculo de 25 indicadores (clasificados en siete categorías) que permiten identificar las debilidades, fortalezas y problemáticas prioritarias en torno a la GIRH y a su sostenibilidad, tema de investigación que se determinó como poco explotado y explorado en ciudades intermedias, sobre todo a nivel regional y local. Es preciso hacer énfasis en el gran esfuerzo realizado para la obtención y el procesamiento del ingente volumen de información requerido para la revisión y aplicación del método planteado.

La investigación proporcionó de un análisis exhaustivo del estado actual de los principales sectores interconectados con el proceso de la GIRH y su sostenibilidad en el área de estudio, análisis desarrollado teniendo en cuenta el contexto económico, histórico, legal, social y/o técnico de cada uno de ellos, pero, además introduciendo, para cada indicador relacionado, aspectos no considerados por el método y que podrían resultar de interés en su futuro.

En el área de estudio, la principal fortaleza en el contexto de la GIRH, tal como se conocía de antemano de forma implícita, es el acceso, casi universal, al agua potable y al saneamiento. La planificación y acción continua en este ámbito han permitido satisfacer este derecho humano fundamental a la población de Cuenca, recalcando la excelente calidad del agua distribuida, así como los niveles de servicio caracterizados por clasificarse como gestionados de forma segura, los cuales se constituyen en una garantía para su adecuado ejercicio.

No obstante, aunque el consumo per cápita de agua potable en Cuenca sea relativamente bajo en comparación con otras ciudades, y, a pesar de que dicho consumo ha experimentado una reducción progresiva en los últimos años, incrementar la eficiencia hídrica a través del desarrollo e implementación de programas articulados que motiven una mejor cultura del agua en la población, los cuales se apoyen en el marco normativo nacional vigente y en la tecnología, es fundamental en el ámbito de la sostenibilidad de la GIRH en el área de estudio. Asimismo, la investigación respecto al sistema acuífero existente en la región es también de esencial importancia, al ser éste considerado por la empresa proveedora del servicio de agua como una potencial fuente de abastecimiento para el futuro.

Por otro lado, Cuenca tiene un gran desafío inherente al servicio de saneamiento, pues la actual instalación para el tratamiento de aguas residuales no contempla tecnologías para la recuperación ni de los nutrientes ni de la energía del caudal afluente y tampoco se efectúa la valorización de los biosólidos extraídos de sus unidades de depuración. Aunque los diseños definitivos para una nueva PTAR están disponibles y su implementación en el futuro cercano sería necesaria pues la actual instalación se encuentra operando a su máxima capacidad, su conceptualización no habría contemplado una planificación integral respecto a lo relacionado con la recuperación de nutrientes, con la eficiencia energética y con la gestión de los biosólidos (a pesar del potencial existente), además de que la cobertura del servicio no se incrementaría de manera significativa con su construcción y puesta en marcha. Este proyecto, si bien sería beneficioso para Cuenca, implicaría también grandes retos interrelacionados con factores propios de otros sectores; por ejemplo, con la sostenibilidad económica – financiera de la empresa prestadora del servicio, pues el tratamiento de aguas residuales es un proceso de alta demanda energética con considerables costos operativos, y, también, con la gestión de los residuos sólidos pues la co-disposición final de los lodos en el relleno sanitario que se constituye como la práctica actual, no podría continuar debido a limitaciones físicas y técnicas.

Resulta imperativo así profundizar el estudio de tecnologías y alternativas para el tratamiento, reutilización, reciclaje y valorización del caudal residual y de los lodos que se producen, y que se producirán en el futuro, en las PTAR en Cuenca, para que éstas sean implementadas a la brevedad posible por la empresa proveedora del servicio. Esto con el objetivo de que, en el mejor escenario, se pueda eliminar la fuga energética que representa la situación actual, generando al mismo tiempo recursos que persigan lo planteado por la sostenibilidad.

La gestión de los desechos sólidos, por su parte, representa también un desafío principal para el área de estudio. Si bien poseer tanto una cobertura total en la recolección de los desechos domiciliarios, como tener una de las tasas de generación más bajas a nivel nacional y regional, significarían en conjunto un gran potencial para una GIRS sostenible y alineada con la GIRH; resulta imperativo para Cuenca tener un reciclaje más eficaz y eficiente apoyado en un mayor compromiso ciudadano, así como de un mejor modelo de gestión de la empresa pública responsable. Y, aunque los esfuerzos ejecutados para aprovechar el potencial energético de los residuos en su disposición final son destacables, a pesar de que aquello no clasifique como valorización energética, la estabilidad económica – financiera del proyecto estaría, a la fecha, en riesgo, por lo que se deberían considerar estrategias diferentes tales como el mercado internacional de carbono para su fortalecimiento.

El estado actual de la infraestructura hidráulica y sanitaria es otro de los importantes retos identificados para una GIRH sostenible en el área de estudio. El porcentaje de fugas en los sistemas de agua, aunque previsto, representa un desperdicio de hasta la tercera parte de la producción, hecho que afecta la eficiencia energética de la prestación del servicio y pone en riesgo la seguridad hídrica. Además, a pesar de que el sistema de alcantarillado tendría aun algunos años más de vida útil, el predominio de redes de tipo combinado convierte a Cuenca

en vulnerable a desbordamientos e inundaciones durante períodos de precipitación intensa lo que provocaría contaminación del recurso hídrico, con consecuencias negativas en los ecosistemas y en la salud humana. Al tener esto en consideración, y, de acuerdo al estado de resultados de la empresa proveedora de los servicios de agua potable y saneamiento, es fundamental la gestión de financiamiento no reembolsable que permita incrementar la resiliencia de los sistemas a la par de poder satisfacer el continuo incremento de la demanda.

En contraste, la base legal, las herramientas, los programas y las políticas públicas existentes respecto a la adaptación climática en el área de estudio reflejan el importante nivel de acción alcanzado, aun cuando en ciertos aspectos (p. ej. para las edificaciones), su desarrollo e implementación sea incipiente. Estos esfuerzos deberían mantenerse y potenciarse, siendo esencial su articulación con todos los sectores potencialmente involucrados. Por su parte, el efecto isla de calor es un tema cuyo estudio debería profundizarse, al haber identificado una buena cantidad de espacio azul y verde en la zona rural, pero, una menor proporción dentro del límite urbano de Cuenca. En todo caso, una planificación integral del uso y ocupación del suelo, así como su estricto cumplimiento resultaría fundamental para la sostenibilidad, no sólo de la GIRH, sino del área de estudio como tal.

Los compromisos y planes de acción en el entorno de la GIRH a nivel local merecen una mención particular, pues, a pesar de una política nacional errática, éstos han sido financiados e implementados de manera continua por la empresa proveedora de agua y saneamiento. Sin embargo, la baja participación pública inferida en el área de estudio, la cual se considera como un factor clave en la gobernanza, podría limitar su eficacia, así como la construcción de una sociedad sostenible.

La investigación reveló que la empresa proveedora de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental, regulada por normativa nacional y local, y, que impulsa la GIRH en Cuenca, tiene un enfoque de gestión bastante definido, a menudo limitado, el cual se ve complementado, aunque sin una conexión sólida con el ámbito de acción de otras dependencias locales y nacionales. En este contexto, es imprescindible una intervención, tanto estatal como municipal, que permita una articulación intersectorial robusta con la GIRH (del sector energético, del sector agrícola, del sector de la construcción, de la planificación y el ordenamiento territorial, etc.), proyectada a mediano y largo plazo, con el objetivo adicional de garantizar la sostenibilidad financiera de esta empresa. Así también, es esencial que dicha empresa establezca un modelo de gobierno corporativo que tenga en cuenta la realidad actual, abstraído de los réditos políticos a corto plazo. Todo ello sin olvidar que la gestión exitosa de una empresa pública depende en gran medida de la autonomía de su administración, pero, también, de la claridad de sus objetivos.

En relación, y con experiencia en el convenio de cooperación interinstitucional vigente con la empresa a cargo de la GIRS, la empresa propulsora de la GIRH en el área de estudio podría potenciar instrumentos de política pública para lograr un enfoque más integral, por ejemplo, al involucrar y comprometer al sector energético con el objetivo de fomentar la eficiencia en

los procesos de tratamiento de aguas residuales. Es preciso recordar que la cooperación interinstitucional y la colaboración entre ciudades y regiones es trascendental, no sólo para la GIRH sino para la sostenibilidad, pues al compartir buenas prácticas su implementación puede darse de manera más oportuna y eficiente.

Finalmente, es de suma importancia que los resultados de la presente investigación puedan ser complementados con la evaluación de los principales desafíos de Cuenca respecto a las presiones ambientales, económicas y sociales a las que estaría sometida, así como con la evaluación de sus condiciones de gobernanza. Esto podría llevarse a cabo con la aplicación del marco TPF y del marco CBF de la metodología City Blueprint Approach, de la cual se deriva el método que se utilizó para la evaluación de la sostenibilidad de la GIRH en el área de estudio. Aquello resultaría imperativo al tener en consideración que tanto el uso ineficiente de los recursos financieros como los planes de acción y políticas que tengan un diseño que no contempla la realidad integral o que se implementan de manera inadecuada, favorecen a la persistencia de las desigualdades respecto al adecuado ejercicio del derecho al agua y el saneamiento, factor fundamental de la GIRH, pero, sobre todo, del desarrollo humano.

5. Referencias

- Abbott, B. W., Bishop, K., Zarnetske, J. P., Hannah, D. M., Frei, R. J., Minaudo, C., ... Pinay, G. (2019). A water cycle for the Anthropocene. *Hydrological Processes*, 33(23). <https://doi.org/10.1002/hyp.13544>
- Adeel, Z. (2017). A renewed focus on water security within the 2030 agenda for sustainable development. *Sustainability Science*, 12(6), 891–894. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0476-7>
- Aguilar-Benitez, I., & Blanco, P. A. (2018). Recuperación de metano y reducción de emisiones en PTAR Nuevo Laredo, Tamaulipas, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 9(2), 86–114. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-04>
- Ait-Kadi, M. (2016). Water for development and development for water: realizing the Sustainable Development Goals (SDGs) vision. *Aquatic Procedia*, 6, 106–110. <https://doi.org/10.1016/j.aapro.2016.06.013>
- Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., ... Parena, R. (2017). *Performance indicators for water supply services* (Tercera Ed). Londres: IWA Publishing.
- Asamblea Nacional. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014). Quito: Registro Oficial No. 305.
- Asamblea Nacional Constituyente. Constitución de la República del Ecuador (2008). Registro Oficial No. 449.
- Avellán, T., Roidt, M., Emmer, A., von Koerber, J., Schneider, P., & Raber, W. (2017). Making the Water–Soil–Waste Nexus Work: Framing the Boundaries of Resource Flows. *Sustainability*, 9(10), 1881. <https://doi.org/10.3390/su9101881>
- AWRA. (2011). Integrated Water Resources Management in the US. In *AWRA Board of Directors*.
- Banco Mundial. (2020a). IB-NET Database. Retrieved July 7, 2020, from <https://database.ib-net.org/DefaultNew.aspx>
- Banco Mundial. (2020b). What A Waste Global Database. Retrieved July 30, 2020, from <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/what-waste-global-database>
- Banco Mundial. (2020c). Worldwide Governance Indicators. Retrieved November 17, 2020, from <http://info.worldbank.org/governance/wgi/>
- Barajas, K. (2016). *Evaluación del potencial del Área de Gestión Urbana Integral (AGUI) desde la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH) en la zona periurbana de Zapopan carretera a Colotlán (2015-2016)*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- Bartra, A. (2008). *El hombre de hierro: los límites sociales y naturales del capital* (Primera Ed).

Ciudad de México: Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

- Bermejo, R. (2014). *Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis*. Bilbao: Instituto de Estudios sobre Desarrollo y Cooperación Internacional.
- Beyene, H. D., Werkneh, A. A., & Ambaye, T. G. (2018). Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review. *Renewable Energy Focus*, 24, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2017.11.001>
- BID. (2020). Cadena de valor en empresas de Agua y Saneamiento. In *Agua 2.0: empresas eficientes para el siglo XXI*.
- Biswas, A. K. (2004). Integrated Water Resources Management: A Reassessment. *Water International*, 29(2), 248–256. <https://doi.org/10.1080/02508060408691775>
- Buccheri, M. J., & Comellas, E. A. (2011). Indicadores para el monitoreo y evaluación hacia la GIRH, 25.
- Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2015). *Introducción a la Hidrogeología del Ecuador* (Segunda Ed). Quito: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI.
- Butt, B. (2018). Environmental indicators and governance. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 32, 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.05.006>
- CAF. (2016). *Eficiencia energética en Ecuador: Identificación de oportunidades*. Quito.
- Chang, I.-S., Zhao, M., Chen, Y., Guo, X., Zhu, Y., Wu, J., & Yuan, T. (2020). Evaluation on the integrated water resources management in China's major cities – Based on City Blueprint® Approach. *Journal of Cleaner Production*, 121410. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121410>
- Colectivo Cuenca Ciudad para Vivir. (2015). *Calidad de vida en Cuenca 2015*. Cuenca. Retrieved from <https://cccv.ec/>
- CONAGUA. (2019). Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado. In *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.
- Cubillos-González, R., Novegil-González-Anleo, F., & Cortés-Cely, O. (2017). *Territorios resilientes y eficientes en Bogotá* (Primera Ed). Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- D'Odorico, P., & Rodríguez-Iturbe, I. (2020). Sustaining water resources. In W. K. Al-Delaimy, R. Veerabhadran, & M. Sánchez Sorondo (Eds.), *Health of People, Health of Planet and Our Responsibility* (pp. 149–163). Cham: Springer.
- Danilenko, A., Van den Berg, C., Macheve, B., & Moffitt, J. (2014). *The IBNET Water Supply and Sanitation Blue Book 2014*. Washington DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0276-8>

- De Albuquerque, C. Informe de la Relatora Especial sobre el derecho humano al agua potable y el saneamiento (2013). A/HRC/24/44. Retrieved from <https://undocs.org/A/HRC/24/44>
- DGPT. (2020). *Dirección General de Planificación Territorial del GADM Cuenca*. Cuenca.
- Dhanya, V., & Renoy, G. (2017). Water governance and public participation: what matters? *Current Science*, 112(4), 686–687. <https://doi.org/10.18520/cs/v112/i04/686-687>
- Díaz, R., & Escárcega, S. (2009). *Desarrollo Sustentable. Una oportunidad para la vida* (Primera Ed). México: McGraw-Hill.
- Dong, Y., & Hauschild, M. Z. (2017). Indicators for environmental sustainability. *Procedia CIRP*, 61(2017), 697–702. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.173>
- EIP Water. (2017a). Indicators of the City Blueprint Framework. Retrieved June 22, 2020, from https://www.eip-water.eu/City_Blueprints
- EIP Water. (2017b). The City City Blueprint® Approach. Retrieved June 22, 2020, from https://www.eip-water.eu/City_Blueprints
- El Mercurio. (2020, November 6). ETAPA notifica el cierre de servicio de televisión satelital. *El Mercurio*. Retrieved from <https://ww2.elmercurio.com.ec/2020/11/06/etapa-notifica-el-cierre-de-servicio-de-television-satelital/>
- EMAC EP. (2018). *Rendición de Cuentas 2018*. Cuenca.
- EMAC EP. (2019). *Informe sobre los biosólidos de ETAPA EP*. Cuenca.
- EMAC EP. (2020a). *Estadísticas de cobertura, recolección y reciclaje de la EMAC EP en el período 2015-2019*. Cuenca.
- EMAC EP. (2020b). Servicios. Retrieved July 21, 2020, from <https://emac.gob.ec/servicios/>
- EPA. (2002). *What is Integrated Solid Waste Management?* Retrieved from <https://nepis.epa.gov/>
- Espinoza, D. A., & Zumba, T. C. (2018). *Estudio del impacto ambiental en la calidad del agua del río Cuenca producido por la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba*. Universidad de Cuenca.
- ESPOL-TECH EP. (2014). *Proyecto: Elaboración del Mapa Hidrogeológico a Escala 1:250000. Informe Final*. Guayaquil.
- ETAPA EP. (2012). *Actualización del Estudio Poblacional del Área de Influencia del Proyecto de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento de la ciudad de Cuenca, II Fase*. Cuenca.
- ETAPA EP. (2015). *Proyección de Población y Hogares del Cantón Cuenca - Actualización*. Cuenca.
- ETAPA EP. (2019). *Manual Orgánico Funcional de ETAPA EP*. Cuenca: ETAPA EP.

- ETAPA EP. (2020a). Agua Potable - ETAPA EP. Retrieved July 23, 2020, from <https://www.etapa.net.ec/Principal/Agua-potable>
- ETAPA EP. (2020b). *Estadísticas de servicios de agua potable y saneamiento. Período: enero - junio 2020*. Cuenca.
- ETAPA EP. (2020c). Estado de situación financiera al 31 de diciembre del 2019. Retrieved November 3, 2020, from <https://www.etapa.net.ec/rendicioncuentas>
- ETAPA EP. (2020d). *Gerencia de Agua Potable y Saneamiento*. Cuenca.
- ETAPA EP. (2020e). Gestión Ambiental. Retrieved November 9, 2020, from <https://www.etapa.net.ec/informacion/gestion-ambiental>
- ETAPA EP. (2020f). *Informe de Labores Año 2019*. Cuenca.
- ETAPA EP. (2020g). Plantas de tratamiento de aguas residuales. Retrieved July 15, 2020, from <https://www.etapa.net.ec/Información/Saneamiento>
- ETAPA EP. (2020h). Programa de recolección y disposición de pilas. Retrieved October 15, 2020, from <https://www.etapa.net.ec/informacion/gestion-ambiental/gestion-de-desechos-y-calidad-ambiental/programa-de-recoleccion-y-disposicion-de-pilas>
- ETAPA EP. (2020i). Saneamiento - ETAPA EP. Retrieved July 25, 2020, from <https://www.etapa.net.ec/Información/Saneamiento>
- ETAPA EP. (2020j). Telefonía. Retrieved November 3, 2020, from <https://www.etapa.net.ec/principal/telefonía/telefonía-fija>
- ETAPA EP, & Rivera, J. P. (2016). *Estudio de Impacto Ambiental Ex Post del Proyecto: "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Ucubamba."* Cuenca.
- FAO. (2003). Review of world water resources by country. *Water Reports*, 23. Retrieved from <http://www.fao.org/3/y4473e/y4473e00.htm>
- FAO. (2020). AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture. Retrieved February 29, 2020, from <http://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use>
- FARN. (2018). *Incineración de basura con recuperación de energía: una tecnología cara, sucia, y a contramano del manejo sustentable de los recursos*. Buenos Aires.
- Fasciolo, G., Puebla, P., Mendoza, V., & Cifuentes, O. (2011). Construcción de indicadores de gestión de cuencas: marco teórico, ejemplos y casos. In *Taller Indicadores de Gestión de Cuencas*. Mendoza: Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.
- Feingold, D., Koop, S., & Van Leeuwen, K. (2018). The City Blueprint Approach: Urban Water Management and Governance in Cities in the U.S. *Environmental Management*, 61(1), 9–23. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0952-y>

- Fernández, N., & Solano, F. (2005). Análisis Comparativo de los Índices de Calidad (ICAs) y de los Índices de Contaminación (ICOs) del Agua. In *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua* (pp. 118–142). Universidad de Pamplona.
- Ferro, G., & Lentini, E. (2015). *Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Foster, S., & Ait-Kadi, M. (2012). Integrated Water Resources Management (IWRM): How does groundwater fit in? *Hydrogeology Journal*, 20(3), 415–418. <https://doi.org/10.1007/s10040-012-0831-9>
- Fundación Municipal Turismo para Cuenca. (2020). Conoce Cuenca. Retrieved November 23, 2020, from <http://cuenca.com.ec/es/conoce-cuenca>
- GADM del Cantón Cuenca. (2020). *Borrador del Plan de Uso y Gestión del Suelo del Cantón Cuenca 2019 - 2030. Tomo 3. Memoria Técnica*. Cuenca.
- Gianoli, A., & Bhatnagar, R. (2019). Managing the Water-Energy Nexus within a Climate Change Context—Lessons from the Experience of Cuenca, Ecuador. *Sustainability*, 11(21), 5918. <https://doi.org/10.3390/su11215918>
- Giordano, M., & Tushaar, S. (2014). From IWRM back to integrated water resources management. *International Journal of Water Resources Development*, 30(3), 364–376. <https://doi.org/10.1080/07900627.2013.851521>
- Giupponi, C., & Gain, A. K. (2017). Integrated water resources management (IWRM) for climate change adaptation. *Regional Environmental Change*, 17, 1865–1867. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1173-x>
- Global Water Partnership. (2000). *Integrated Water Resources Management. GWP Technical Advisory Committee (TAC) Background Paper No. 4*. Estocolmo. Retrieved from <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-english.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca*. Cuenca.
- Gómez Gil, C. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global*, (140), 107–118.
- Greeley & Hansen, ACSAM Consultores, & ETAPA EP. (2017). *Diseños Definitivos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Guangarcucho, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay, Ecuador: Memoria Técnica del Informe Final*. Cuenca.
- Greeley & Hansen, & ETAPA EP. (2019). *Plan Maestro de Gestión de Biosólidos en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Cuenca, Fase 1 Prefactibilidad: Informe Técnico Final*. Cuenca.
- Grigg, N. S. (2016). *Integrated Water Resource Management: An interdisciplinary approach*.

Londres: Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/978-1-137-57615-6>

- Grigg, N. S. (2019). IWRM and the Nexus Approach: Versatile Concepts for Water Resources Education. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, (166), 24–34. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2019.03299.x>
- Grupo de Investigación en Economía Regional. (2019). *Estudio de la demanda y oferta turística de la ciudad de Cuenca - Boletín Anual. Año 2018*. Cuenca.
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershawa, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, 584, 1040–1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Gutama, H. (2020, September 23). Inversión de la EMAC en planta de biogas genera pérdidas. *El Mercurio*. Retrieved from <https://ww2.elmercurio.com.ec/2020/09/23/inversion-de-la-emac-en-planta-de-biogas-genera-perdidas/#:~:text=La empresa se mantiene a,generado pérdidas por 535.790 dólares.>
- Guzmán, P., Batelaan, O., Huysmans, M., & Wyseure, G. (2015). Comparative analysis of baseflow characteristics of two Andean catchments, Ecuador. *Hydrological Processes*, 29(14), 3051–3064. <https://doi.org/10.1002/hyp.10422>
- Hao, T., Du, P., & Gao, Y. (2012). Water environment security indicator system for urban water management. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 6(5), 678–691. <https://doi.org/10.1007/s11783-012-0450-7>
- Hart, J. (2019). Blue Space: How Being Near Water Benefits Health. *Alternative and Complementary Therapies*, 25(4), 208–210. <https://doi.org/10.1089/act.2019.29228.jha>
- Howard, G., & Bartram, J. (2003). *Domestic Water Quantity, Service, Level and Health*. Ginebra: World Health Organization. Retrieved from https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1
- Huisman, L., Azevedo Netto, J. M., Sundaresan, B. B., & Lanoix, J. N. (1988). *Sistema de Abastecimiento de Agua para Pequeñas Comunidades. Tecnología de Pequeños Sistemas de Abastecimiento de Agua en Países en Desarrollo*. (E. H. Hofkes, Ed.). Lima: CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente).
- Ilustre Concejo Cantonal de Cuenca. Ordenanza que regula la Gestión Integral de los Desechos y Residuos Sólidos en el cantón Cuenca (2003). Cuenca.
- Ilustre Concejo Cantonal de Cuenca. Ordenanza de Constitución, Organización y Funcionamiento de la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca - EMAC EP (2010). Cuenca.
- Ilustre Concejo Cantonal de Cuenca. Ordenanza de constitución, organización y funcionamiento de la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable,

- Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca - ETAPA EP (2010). Cuenca.
- INBO, & GWP. (2012). *The handbook for Integrated Water Resources Management in transboundary basins of rivers, lakes and aquifers*. Paris: International Network of Basin Organizations - INBO.
- INEC. (2008). *Análisis de Información Estadística de Participación Ciudadana*. Quito.
- INEC. (2019). *Información Ambiental en Hogares ESPND 2018*. Quito. Retrieved from <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/hogares/>
- INEC. (2020). *Cuentas Satélite del Trabajo No Remunerado de los Hogares (CSTNRH) 2016 - 2017*. Quito. Retrieved from <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/cuenta-satelite-del-trabajo-no-remunerado/>
- INEN. CPE INEN 5. Parte 9-1. Código Ecuatoriano de la Construcción. C.E.C. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. CO:01.06-603 (1992). Quito: Registro Oficial No. 6.
- INEN. CPE INEN 5. Parte 9-2. Código Ecuatoriano de la Construcción. (C.E.C). Diseño de instalaciones sanitarias: Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural. (1997). Quito: Registro Oficial No. 117.
- INEN. NTE INEN 1108 (Sexta revisión). Agua para consumo humano. Requisitos (2020). Quito: Registro Oficial Edición Especial No. 475.
- INERCO. (2018). *Valorización Energética de Residuos: Proyecto WTE Colombia*. Bogotá.
- Ingeniería Sin Fronteras, & UNESCO ETXEA. (2010). *Derecho al agua. Implementación del derecho humano al agua*. Madrid: Advantia S.A. Retrieved from <http://apd.isf.es>
- Kim, H., Son, J., Lee, S., Koop, S., Van Leeuwen, K., Choi, Y. J., & Park, J. (2018). Assessing Urban Water Management Sustainability of a Megacity: Case Study of Seoul, South Korea. *Water*, 10(6), 682. <https://doi.org/10.3390/w10060682>
- Koop, S. H. A., & Van Leeuwen, C. J. (2015a). Application of the improved city blueprint framework in 45 municipalities and regions. *Water Resources Management*, 29(13), 4629–4647. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1079-7>
- Koop, S. H. A., & Van Leeuwen, C. J. (2015b). Assessment of the sustainability of water resources management: a critical review of the City Blueprint approach. *Water Resources Management*, 29(15), 5649–5670. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1139-z>
- Lal, R. (2015). The nexus approach to managing water, soil and waste under changing climate and growing demands on natural resources. In M. Kurian & R. Ardakanian (Eds.), *Governing the Nexus: Water, Soil and Waste Resources Considering Global Change*

(pp. 39–60). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05747-7_3

- LeBlanc, R. (2019). Integrated Solid Waste Management (ISWM) - An Overview. Retrieved July 21, 2020, from <https://www.thebalancesmb.com/>
- Llambí, L. D., Soto, A., Céleri, R., De Bièvre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos*. Monsalve Moreno.
- López Cualla, R. A. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* (Segunda Ed). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Manfredi, E. C., Flury, B., Viviano, G., Thakuri, S., Khanal, S. N., Jha, P. K., ... Salerno, F. (2010). Solid waste and water quality management models for Sagarmatha National Park and Buffer Zone, Nepal. *Mountain Research and Development*, 30(12), 127–142. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-10-00028.1>
- Méndez, E. M. (2016). *Evaluación de la gestión integrada de los recursos hídricos, del área urbana del municipio de San Juan Chamelco, Departamento de Alta Verapaz*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2017). *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035*. Quito.
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025*. Quito.
- Ministerio del Ambiente. Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua (2015). Quito: Registro Oficial No. 387.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Quito.
- Moazami, A., Carlucci, S., Nik, V. M., & Geving, S. (2019). Towards climate robust buildings: An innovative method for designing buildings with robust energy performance under climate change. *Energy & Buildings*, 2020, 109378. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109378>
- Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522–538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
- Molina, M., Sarukhán, J., & Carabias, J. (2017). *El cambio climático: causas, efectos y soluciones*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Montoya, H., Contreras, S., & García, R. (1997). *Estudio integral de la calidad del agua en el estado de Jalisco, Guadalajara*.

- Mukhtarov, F., Dieperink, C., & Driessen, P. (2018). The influence of information and communication technologies on public participation in urban water governance: A review of place-based research. *Environmental Science and Policy*, 89, 430–438. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.08.015>
- Murphy, C., & Drury, A. (2020). Operating Cost. Retrieved August 12, 2020, from <https://www.investopedia.com/terms/o/operating-cost.asp>
- Naciones Unidas. Proceso de elaboración de la perspectiva ambiental hasta el año 2000 y más adelante (1982). A/RES/38/161.
- Naciones Unidas. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Retrieved from <https://undocs.org/es/A/42/427>
- Naciones Unidas. Observación general N°15: El derecho al agua (artículos 11 y 12 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales) (2003). Ginebra: E/C.12/2002/11. Retrieved from <https://www.undocs.org/e/c.12/2002/11>
- Naciones Unidas. El derecho humano al agua y el saneamiento (2010). A/RES/64/292. Retrieved from https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S
- Naciones Unidas. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (2015). A/RES/70/1. Retrieved from https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S
- Naciones Unidas. Labor de la Comisión de Estadística en relación con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Anexo: Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (2017). A/RES/71/313. Retrieved from <https://undocs.org/es/A/RES/71/313>
- NSW Government. (2019). *Energy Efficiency Opportunities in Wastewater Treatment Facilities*. Sydney: Office of Environment and Heritage.
- OECD. (2015). *Environment at a Glance 2015: OECD Indicators*. París: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264235199-en>
- OMS/UNICEF. (2017). *Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS*. (A. Grojec, Ed.). Ginebra: Organización Mundial de la Salud y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. Retrieved from washdata.org/sites/default/files/documents/reports/2018-01/JMP-2017-report-final.pdf
- ONU-Agua. (2013). *Water Security & the Global Water Agenda. A UN-Water Analytical Brief*. UNU-INWEH.
- Ordóñez, F., & ETAPA EP. (2015). *Memoria Técnica: Diseño hidráulico y sanitario de la ampliación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán - Módulo II*. Cuenca.

- Ordóñez, G. (2008). *De la bacinilla a la alcantarilla*. Cuenca: U Ediciones.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Servicios de agua potable gestionada de forma segura. Informe temático sobre el agua potable 2017*. (A. Grojec, Ed.). Ginebra: OMS - UNICEF.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda* (Cuarta Ed). Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Retrieved from <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403>
- Oxford University Press. (2020). Megacity. Retrieved June 19, 2020, from <https://www.lexico.com/definition/megacity>
- Palma, E., & Villagómez, E. (2012). *Análisis, evaluación y propuesta de una red de monitoreo hidrogeológico para la subcuenca del río Tarqui*. Universidad de Cuenca.
- Pinos, J. A., & Malo, A. J. (2018). El derecho humano de acceso al agua: una revisión desde el Foro Mundial del Agua y la gestión de los recursos hídricos en Latinoamérica. *INVURNUS*, 13(1), 12–20.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2006). *Informe sobre Desarrollo Humano 2006. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua*. New York: PNUD.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2016). *Informe sobre Desarrollo Humano 2016. Desarrollo humano para todas las personas*. New York: PNUD.
- Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París: UNESCO.
- Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París: UNESCO.
- Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, & ONU-Agua. (2015). *The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world*. París: UNESCO. Retrieved from <http://www.unwater.org/publications>
- Qadir, M., Drechsel, P., Jiménez-Cisneros, B., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P., & Olaniyan, O. (2020). Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Resources Forum*, 44(1), 40–51. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187>
- Quesada, I. M. (2018). *Aprovechamiento energético de los residuos*. Universidad de Alicante.
- Radivojević, D., Blagojević, B., & Ilić, A. (2020). Water Supply System Performance Improvement in the Town of Pirot Using Water Balance IWA Methodology and Numerical

- Simulations. *Technical Gazette*, 27(3), 970–977. <https://doi.org/10.17559/TV-20180514195054>
- Radwan, H., Elattar, S., & Khmes, R. (2010). Global water resources. In M. Aufleger & W. Rauch (Eds.), *Handshake across the Jordan: Water and Understanding* (pp. 7–25). Pella: Innsbruck university press.
- Ramazanova, M. (2019). *Tourism and water resources: interrelationships and consequences. The case of Kazakhstan*. Universitat de les Illes Balears.
- Registro Oficial. Primer Suplemento del Registro Oficial No. 175 (2010). Quito: Registro Oficial No. 175.
- Registro Oficial. Registro Oficial No. 239 (2014). Quito: Registro Oficial No. 239.
- Registro Oficial. Registro Oficial Edición Especial No. 475 (2020). Quito: Registro Oficial No. 475.
- Rengel, A., & ETAPA EP. (2008). *Plan de Manejo Ambiental para la construcción de las obras del proyecto para el mejoramiento integral del sistema de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba*. Cuenca.
- Rincón, S., Mendoza, L., & Gómez, A. (2019). *Tratamiento térmico de biosólidos para aplicaciones energéticas. Pirólisis y conversión de sus alquitrans*. Kassel: kassel university press GmbH. <https://doi.org/10.19211/KUP9783862199815>
- Sachs, J. (2015). *The age of sustainable development*. New York: Columbia University Press.
- Sánchez, C. (2019, August 25). Contraloría auditó a EMAC-BGP ENERGY. *El Mercurio*. Retrieved from <https://ww2.elmercurio.com.ec/2019/08/25/contraloria-audito-a-emac-bgp-energy/>
- Schreurs, E., Koop, S. H. A., & Van Leeuwen, K. (2017). Application of the City Blueprint Approach to assess the challenges of water management and governance in Quito (Ecuador). *Environment, Development and Sustainability*, 20(2), 509–525. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9916-x>
- Secretaría del Agua. (2016). *Estrategia Nacional de Calidad del Agua 2016-2030*. Secretaría del Agua.
- Smith, M., & Clausen, T. J. (2018). Revitalising IWRM for the 2030 Agenda. In *World Water Council Challenge Paper for the High-Level Panel on IWRM at the 8th World Water Forum*. Brasilia: World Water Council.
- Tapia-Sisalima, J. D. (2018). El páramo del Cajas: ecosistema esencial para el abastecimiento de agua al cantón Cuenca. In *Maestría en Estudios Socioambientales. Módulo: Adaptación, Mitigación y Vulnerabilidad en Ecosistemas Andinos y Amazónicos - Universidad del Azuay*. Cuenca.
- Tapia-Sisalima, J. D. (2020). La sostenibilidad del concepto de Desarrollo Sostenible. ¿Cómo

hacerlo operativo? UDA *AKADEM*, 1(6), 184–2020.
<https://doi.org/https://doi.org/10.33324/udaakadem.v1i6.320>

- Tapia-Sisalima, J. D., & ETAPA EP. (2018). *Información Técnica: Sistema de abastecimiento de agua potable "Chocarsí - Zhizhio - Tunas Loma"*. Cuenca.
- Tchobanoglous, G. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Redes de Alcantarillado y Bombeo*. (J. de D. Trillo, Ed.) (Primera Ed). Madrid: McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- Tello, R. (2018, January). Medio siglo al servicio de la vida y el desarrollo de Cuenca. *Revista Avance*, 22–23. Retrieved from <https://www.revistavance.com/reportajes-entrevistas-y-mas-enero-2018/medio-siglo-al-servicio-de-la-vida-y-el-desarrollo-de-cuenca.html>
- Tello, R. (2020, January). Historia de ETAPA es parte de la historia de Cuenca. *Revista Avance*. Retrieved from <https://www.revistavance.com/ediciones-anteriores/ano-2020/enero-de-2020/60611244-historia-de-etapa-es-parte-de-la-historia-de-cuenca.html>
- Theregowda, R. B., González-Mejía, A. M., Ma, X., & Garland, J. (2019). Nutrient recovery from municipal wastewater for sustainable food production systems: An alternative to traditional fertilizers. *Environmental Engineering Science*, 36(7), 833–842. <https://doi.org/10.1089/ees.2019.0053>
- Torres, P., Díaz, B., & Martínez, D. (2011). Los indicadores, una herramienta en la gestión integrada de los recursos hídricos en México. *JAINA Boletín Informativo*, 22(1), 31–40.
- Tortajada, C., González-Gómez, F., Biswas, A. K., & Buurman, J. (2019). Water demand management strategies for water-scarce cities: The case of Spain. *Sustainable Cities and Society*, 45, 649–656. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.044>
- Trojan, F., & Costa, D. (2015). Maintenance management decision model for reduction of losses in water distribution networks. *Water Resources Management*, 29(10), 3459–3479. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0966-2>
- TYPSA, ETAPA EP, & BID. (2004). *Estudios y Diseños Finales de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca (Ecuador) - II ETAPA*. Cuenca.
- UN-Habitat. (2016). *Urbanization and Development: Emerging Futures*. Nairobi.
- UNEP. (2014). *Eficiencia en el uso del agua y la energía*.
- UNESCO, & ONU-Agua. (2020). *United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*. París: UNESCO.
- UNESCO, & WMO. (2012). *International glossary of hydrology*. Ginebra: World Meteorological Organization. <https://doi.org/978-92-3-001154-3>
- UNW-DPAC. (2014). *El derecho humano al agua y al saneamiento - Hitos*. Zaragoza. Retrieved from https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitati

on_milestones_spa.pdf

- Van Leeuwen, K., Hofman, J., Driessen, P., & Frijns, J. (2019). The Challenges of Water Management and Governance in Cities. *Water*, 11(6), 1180–1185. <https://doi.org/10.3390/w11061180>
- Van Leeuwen, C. J., & Chandy, P. (2013). The city blueprint: experiences with the implementation of 24 indicators to assess the sustainability of the urban water cycle. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(3), 769–781. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.062>
- Van Leeuwen, C. J., Dan, N. P., & Dieperink, C. (2016). The challenges of water governance in Ho Chi Minh City. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 12(2), 345–352. <https://doi.org/10.1002/ieam.1664>
- Van Leeuwen, C. J., Frijns, J., Van Wezel, A., & Van de Ven, F. H. M. (2012). City Blueprints: 24 Indicators to Assess the Sustainability of the Urban Water Cycle. *Water Resources Management*, 26(8), 2177–2197. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0009-1>
- Van Leeuwen, C. J., & Sjerps, R. M. A. (2015). The City Blueprint of Amsterdam: an assessment of integrated water resources management in the capital of the Netherlands. *Water Science and Technology: Water Supply*, 15(2), 404–410. <https://doi.org/10.2166/ws.2014.127>
- Von Sperling, M. (2007). *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal* (Primera Ed). Londres: IWA Publishing.
- Wang, K., Davies, E. G. R., & Liu, J. (2019). Integrated water resources management and modeling: A case study of Bow river basin, Canada. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118242>
- WHO. (2020). *Costing and financing of small-scale water supply and sanitation services*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- World Justice Project. (2020a). *Índice de Estado de Derecho en México 2019–2020*. Ciudad de México.
- World Justice Project. (2020b). *The World Justice Project (WJP) Rule of Law Index® 2020*. Washington DC.
- Yáñez, L., Franco, P., Bastidas, W., & Córdova, V. (2017). Resumen del Plan Nacional de Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos y de las cuencas y microcuencas hidrográficas de Ecuador. *Aqua-LAC*, 9(2), 124–132.

6. Anexos

6.1 Anexo I. El derecho humano al agua

El derecho humano al agua está incluido, tanto de manera implícita como explícita, en un sinnúmero de declaraciones, acuerdos, tratados, resoluciones y otras normas, nacionales e internacionales (Ingeniería Sin Fronteras & UNESCO ETXEA, 2010). En el ámbito del derecho internacional, su conceptualización, implicaciones y contenidos ha evolucionado en el tiempo, a partir de que, en el año de 1977, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua se declaró por primera vez que: *“Todos los pueblos, cualquiera que sea su nivel de desarrollo o condiciones económicas y sociales, tienen derecho al acceso a agua potable en cantidad y calidad acordes con sus necesidades básicas”* (UNW-DPAC, 2014).

En este sentido, en el año 2002, el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales del Consejo Económico y Social de la ONU emitió la ‘Observación general N° 15: El derecho al agua (artículos 11 y 12 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales)’, la cual en su primer artículo indica, sobre el derecho al agua, que éste *“es indispensable para vivir dignamente y es condición previa para la realización de otros derechos humanos”* (Naciones Unidas, 2003). En su artículo dos, lo define como *“el derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico”* (Naciones Unidas, 2003), de manera que, para que tenga un significado real, este derecho humano estará inexorablemente vinculando al cumplimiento de dichas características (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2006).

Recientemente, en julio del año 2010, mediante la resolución A/RES/64/292 la Asamblea General de la ONU reconoció de manera formal y explícita el derecho humano al agua y al saneamiento, ratificando así su carácter de esencial en el ámbito del alcance de todos los derechos humanos (Naciones Unidas, 2010), al constituirse éstos como indispensables en el aseguramiento del sustento saludable de los hogares del mundo (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019). La resolución en mención exhorta, además, a los Estados y organizaciones, a proporcionar el financiamiento e impulsar la cooperación internacional para intensificar el acceso económico a estos servicios, especialmente para los países en desarrollo (Naciones Unidas, 2010). El reconocimiento del acceso al agua y al saneamiento como un derecho humano lo insta como una titularidad legal exigible, deriva en responsabilidades por parte de los Estados e impulsa su perfil político (Ingeniería Sin Fronteras & UNESCO ETXEA, 2010).

De acuerdo a la Observación General N° 15, la disponibilidad, la calidad y la accesibilidad son los tres factores fundamentales, universales y aplicables a cualquier circunstancia, para garantizar el adecuado ejercicio del derecho humano al agua (Naciones Unidas, 2003).

i. Disponibilidad

La disponibilidad se refiere a que el abastecimiento de agua debe ser continuo y suficiente, tanto para los usos personales como para los usos domésticos, incluyendo: consumo,

saneamiento personal, preparación de alimentos, lavado de ropa y vajillas e higiene personal y doméstica (Naciones Unidas, 2003; Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019).

En este aspecto, a pesar de que en función de factores tales como el clima, unos pocos litros al día serían suficientes para satisfacer los requerimientos básicos de bebida y preparación de alimentos de una persona, cantidades bastante mayores se requerirían al considerar de manera integral otros propósitos (Huisman, Azevedo Netto, Sundaresan, & Lanoix, 1988). Así, en función de estimaciones de las necesidades de una madre lactante que realiza actividad física moderada en temperaturas superiores al promedio, se ha calculado que el volumen mínimo de agua que satisfaría los requerimientos de la mayoría de las personas en la mayoría de condiciones sería de 7.5 litros por persona por día (Howard & Bartram, 2003). Sin embargo, dicho volumen no toma en cuenta los requerimientos en relación a la salud y el bienestar, aparte del uso doméstico común. Por su parte, organismos como el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, por sus siglas en inglés) o la Organización Mundial de la Salud (OMS) han sugerido un volumen mínimo de 20 litros de agua al día por persona, de una fuente que se encuentre a una distancia máxima de 1 kilómetro, como la cantidad suficiente para bebida e higiene personal básica (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2006). Empero, al considerar las necesidades para el baño y para limpieza, el umbral del requerimiento mínimo por persona, el cual mantendría en un nivel bajo los riesgos para la salud pública, incrementaría hasta aproximadamente 50 litros diarios (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2006; Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019). Finalmente, un volumen de 100 litros por día se considera como el mínimo óptimo para satisfacer todas las necesidades de consumo y de higiene de una persona (Howard & Bartram, 2003).

ii. Calidad

Toda fuente de agua cruda, por mejores características que presente, podría requerir algún tipo de tratamiento. Una fuente de inadecuada calidad afecta de manera directa a la población que depende de ella como principal suministro, limitando su acceso al recurso, incrementando los riesgos para la salud relacionados, restringiendo su capacidad de ejercicio de otros derechos y disminuyendo su calidad de vida (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019). Tal como se mencionó en la sección 2.3, los estándares de calidad del agua potable suministrada a una población tienen referencia, por lo general, en las 'Guías para la calidad del agua de consumo humano' de la OMS y se fundamentan en sus características microbiológicas, químicas, radiológicas y físicas (Organización Mundial de la Salud, 2017).

De esta manera, entre los principales aspectos a considerar respecto a la calidad del agua de consumo humano están los riesgos microbiológicos, es decir, aquellos relacionados con la ingesta de agua contaminada con heces humanas o animales, las cuales son fuente de patógenos tales como bacterias, parásitos patógenos (helmintos y protozoos) y virus,

responsables de enfermedades infecciosas agudas y crónicas (Organización Mundial de la Salud, 2018). En este aspecto, la *Escherichia Coli* es considerada como la principal bacteria indicadora de contaminación fecal en el agua (Organización Mundial de la Salud, 2017). Hay que tener en cuenta que, en adición al agua de consumo, los agentes patógenos se transmiten por vía fecal-oral, a través de alimentos contaminados, manos, utensilios y ropa, en especial cuando el saneamiento e higiene personal y doméstica son insuficientes, por lo que además de la calidad del agua, su disponibilidad y accesibilidad son fundamentales (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Por otro lado, si bien el agua de consumo puede tener en su composición sustancias químicas, únicamente unos pocos componentes tienen la capacidad de causar efectos adversos sobre la salud de las personas como resultado de períodos prolongados de exposición. En este sentido, se han calculado y establecido valores de referencia –es decir, concentraciones de un componente que no ocasionan riesgo significativo alguno para la salud cuando se consumen durante toda la vida– para aquellas sustancias químicas consideradas peligrosas para la salud humana (Organización Mundial de la Salud, 2018). Existen además productos químicos cuyo aporte derivado de la ingesta de agua previenen enfermedades (p. ej. el fluoruro, que protege contra la caries dental) o son esenciales en la nutrición humana, de los cuales, sin embargo, no se ha definido una concentración mínima deseable (Organización Mundial de la Salud, 2018). Adicionalmente, ciertas sustancias químicas peligrosas para la salud afectan la aceptabilidad del agua, por lo que, generalmente, derivan en el rechazo instantáneo del agua aún en concentraciones mucho menores a las que podrían ocasionar dichos efectos adversos (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Por otra parte, se conoce que las fuentes de agua pueden contener radionúclidos de origen tanto natural como artificial. En condiciones normales, la exposición a sustancias radioactivas por la contribución del agua de consumo es mínima. No obstante, su presencia en el agua debe ser considerada, a través de la verificación de umbrales máximos de radioactividad alfa total y beta total, que demandan, sin embargo, investigación adicional para determinar las sustancias específicas contaminantes y sus riesgos probables (Organización Mundial de la Salud, 2018). Las exposiciones a agua de consumo que contengan radionúclidos por prolongados períodos de tiempo suponen riesgo de cáncer, para lo cual las normas establecen valores de referencia específicos (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Finalmente, un consumidor o consumidora, evalúa en primera instancia, la calidad del agua a través de sus sentidos. La composición microbiológica, física y química del agua puede afectar su apariencia, olor o sabor, razón por la cual, éstas características son consideradas como esenciales en la evaluación de la aceptabilidad del agua de consumo. Aspectos organolépticos como el color, el olor, el sabor y la turbiedad, pueden derivar en el rechazo del agua por ser considerada como insalubre, a pesar de que ésta pueda ser inocua, y en su lugar llevar a preferir agua de mejor aspecto, pero insalubre (Organización Mundial de la Salud, 2018). El olor y sabor pueden tener origen en contaminantes químicos naturales o

sintéticos, o pueden deberse también al resultado de la corrosión de tuberías o al mismo proceso de tratamiento y distribución del agua (Organización Mundial de la Salud, 2018). En tal sentido, las normativas nacionales deben tener en consideración las percepciones individuales y locales, en relación a valores de referencia para aspectos estéticos.

iii. **Accesibilidad**

Este factor presenta cuatro dimensiones sobrepuestas (Naciones Unidas, 2003; Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019), las cuales se describen a continuación:

- a. *Accesibilidad física*: El agua y los servicios e instalaciones de agua deben estar al alcance físico de toda la población. Un suministro de agua suficiente, salubre y aceptable debe ser accesible en cada hogar, institución educativa o lugar de trabajo o en sus cercanías inmediatas. La infraestructura de suministro de agua debe estar en una ubicación segura, tener calidad suficiente y ser culturalmente adecuada, siendo consecuente con las necesidades de género, ciclo vital e intimidad.
- b. *Accesibilidad económica*: Los costos directos e indirectos asociados al abastecimiento de agua deben ser asequibles y no limitar la capacidad de adquisición de otros bienes y servicios básicos esenciales para el ejercicio de otros derechos. Ninguna persona puede verse privada del derecho al agua por imposibilidad de pago.
- c. *No discriminación*: El agua y los servicios e instalaciones de agua deben ser accesibles a todos y todas de hecho y derecho, sin discriminación alguna, inclusive a los sectores más vulnerables y marginados de la población (niñas y mujeres, personas refugiadas, pueblos indígenas, entre otros).
- d. *Participación y acceso a la información*: Abarca el derecho de solicitar, recibir y difundir información acerca de las cuestiones del agua, en un formato comprensible y a través de medios de comunicación y lenguajes adecuados. Incluye el derecho a participar en los procesos de toma de decisiones relacionados.

6.2 Anexo II. Encuesta a personal gerencial y técnico de ETAPA EP.

Para el cálculo del indicador 15, conforme a lo detallado en la sección 3.5, se aplicó vía correo electrónico, una encuesta dirigida al personal de mayor jerarquía (de acuerdo al Manual Orgánico Funcional) de la Gerencia de Agua Potable y Saneamiento de la empresa ETAPA EP. Así también, la encuesta fue remitida al personal técnico de mayor experiencia profesional que, a la fecha, laboraba en dicha dependencia.

En la Tabla 36 se han listado a las personas a quienes se dirigió la encuesta, detallando el cargo que cada una desempeña actualmente así como el número total de años de servicio en ETAPA EP.

Tabla 36. Personal gerencial y técnico de ETAPA EP al que se dirigió la encuesta para el cálculo del indicador 15.

Nombres y Apellidos	Cargo en la empresa	Años de servicio
Ing. Civ. Fabián Eduardo Cazar Almache, MSc.	Gerente de Agua Potable y Saneamiento	16
Ing. Civ. Fredy Giovany Ochoa Ullauri	Subgerente de Desarrollo de Infraestructura	16
Ing. Civ. Gerardo Benjamín Cordero Pérez, MSc.	Director Ejecutivo de la Unidad de Planes Maestros	17
Ing. Civ. José Luis Guillén Larrea, MSc.	Administrador del Departamento de Diseño e Ingeniería	14
Ing. Civ. Telmo Vinicio Bedoya Naula	Administrador del Departamento de Construcción y Fiscalización	28
Ing. Civ. Juana Priscila Padrón Palacios, MSc.	Administradora del Departamento de Liquidación	10
Ing. Civ. Nancy Catalina Abril Guerrero	Supervisora de Saneamiento	32
Ing. Civ. Pedro Vinicio Andrade Ochoa, MSc.	Supervisor de Proyectos – Saneamiento	17
Ing. Civ. Jorge Eduardo Brito Galarza, MSc.	Ingeniero de Proyectos – Diseño	30
Ing. Civ. Eugenio Alberto Reyes Jerves	Ingeniero de Proyectos – Fiscalización	20

Elaboración propia

La pregunta para el cálculo del indicador 15 se formuló de la siguiente manera:

“Acorde a su experiencia profesional, ¿Cuál considera Ud. que sería la antigüedad promedio del sistema de alcantarillado existente en el área consolidada de servicio de ETAPA EP? (indicar la edad en años)”.

Con estos antecedentes, el detalle de las respuestas recibidas se muestran en la Tabla 37. Para la aproximación de la antigüedad promedio del sistema de alcantarillado en el área de estudio se calculó la media aritmética de las edades en años inferidas por cada una de las personas encuestadas, resultando ésta en 23 años.

Tabla 37. Respuestas remitidas sobre la antigüedad del sistema de alcantarillado en el área de estudio.

Nombres y Apellidos	Edad del alcantarillado
Ing. Civ. Fabián Eduardo Cazar Almache, MSc.	30
Ing. Civ. Fredy Giovany Ochoa Ullauri	15
Ing. Civ. Gerardo Benjamín Cordero Pérez, MSc.	17.5
Ing. Civ. José Luis Guillén Larrea, MSc.	22.5
Ing. Civ. Telmo Vinicio Bedoya Naula	20
Ing. Civ. Juana Priscila Padrón Palacios, MSc.	20
Ing. Civ. Nancy Catalina Abril Guerrero	25
Ing. Civ. Pedro Vinicio Andrade Ochoa, MSc.	30
Ing. Civ. Jorge Eduardo Brito Galarza, MSc.	25
Ing. Civ. Eugenio Alberto Reyes Jerves	25

Elaboración propia

Por último, cabe mencionar que la aplicación de la encuesta permitió adicionalmente indagar sobre la percepción del personal gerencial y técnico respecto a la GIRH impulsada por la empresa ETAPA EP en el área de estudio.

6.3 Anexo III. Indicadores del método CBF y su relación con los ODS.

El indisoluble vínculo entre el agua y el desarrollo sostenible se ve reflejado en las complejas interconexiones del sector hídrico con un sinnúmero de aspectos ambientales, económicos y sociales que lo erigen como su núcleo. En el contexto de la Agenda 2030 y el reconocimiento de la GIRH como fundamental para su alcance, el proceso de la presente investigación permitió adicionalmente, para cada uno de los indicadores del método CBF en el área de estudio, identificar las relaciones existentes entre ellos y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y sus 169 metas asociadas, con el detalle a continuación:

1. Tratamiento secundario de aguas residuales

Relación directa con el ODS 6 (metas 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.a y 6.b), con importancia también en el ámbito de los ODS 1 (meta 1.4), ODS 2 (meta 2.2), ODS 3 (metas 3.4 y 3.9), ODS 5 (metas 5.4 y 5.a), ODS 9 (metas 9.1, 9.4 y 9.b), ODS 11 (meta 11.1, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.a y 11.b), ODS 12 (metas 12.2, 12.4, 12.5 y 12.6), ODS 13, ODS 14 (metas 14.1, 14.2 y 14.3), ODS 15 (metas 15.1, 15.3, 15.5, 15.9 y 15.a), ODS 16 (meta 16.6), y, ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).

2. Tratamiento terciario de aguas residuales

Mismas relaciones que aquellas identificadas para el indicador 1.

3. Calidad del agua subterránea

Relación directa con el ODS 6 (metas 6.1, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.a y 6.b), pero se destaca su importancia respecto a los ODS 1 (meta 1.4), ODS 2 (meta 2.2), ODS 3 (meta 3.9), ODS 5 (metas 5.4, 5.5 y 5.a), ODS 9 (metas 9.5 y 9.b), ODS 11 (meta 11.1, 11.4, 11.5, 11.6 y 11.b), ODS 12 (metas 12.2, 12.4 y 12.5), ODS 13, ODS 15 (metas 15.1, 15.3, 15.5, 15.9 y 15.a), ODS 16 (meta 16.6) y, ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).

4. Desechos sólidos recolectados

Vinculado directamente al ODS 11 (metas 11.3, 11.4, 11.6, 11.a y 11.b) y al ODS 12 (meta 12.4), enfatizando además su relación con el ODS 6 (metas 6.3, 6.5, 6.6 y 6.b). Asimismo, podría resultar relevante en el contexto de los ODS 1 (metas 1.4 y 1.5), ODS 3 (metas 3.4 y 3.9), ODS 9 (metas 9.1, 9.4 y 9.b), ODS 13, ODS 14 (metas 14.1, 14.2 y 14.3), ODS 15 (metas 15.1, 15.4, 15.5, 15.9, 15.a y 15.b), ODS 16 (metas 16.6 y 16.7), y, ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).

5. Desechos sólidos reciclados

Al igual que para el caso anterior, tiene relación directa con el ODS 11 (metas 11.3, 11.4, 11.6, 11.a y 11.b) y con el ODS 12 (metas 12.2, 12.4, 12.5 y 12.a). Además, en el contexto de la GIRH, se relaciona con el ODS 6 (metas 6.3, 6.5, 6.6 y 6.b), resultando también de interés en el ámbito de los ODS 1 (metas 1.4 y 1.5), ODS 2 (metas 2.3, 2.4 y 2.a), ODS 3 (metas 3.4 y 3.9), ODS 8 (metas 8.3, 8.4, 8.5 y 8.8), ODS 9 (metas 9.1, 9.4 y 9.b), ODS 13,

ODS 14 (metas 14.1, 14.2 y 14.3), ODS 15 (metas 15.1, 15.4, 15.5, 15.9, 15.a y 15.b), ODS 16 (metas 16.6 y 16.7), y, ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).

6. Energía recuperada de los desechos sólidos

Relación directa con los ODS 7 (metas 7.1, 7.2, 7.3, 7.a y 7.b), ODS 11 (metas 11.3, 11.4, 11.6, 11.a y 11.b) y ODS 12 (metas 12.2, 12.4, 12.5, 12.7 y 12.a). Además, en el contexto de la GIRH, se relaciona con el ODS 6 (metas 6.3, 6.5, 6.6 y 6.b), resultando también de interés en el ámbito de los ODS 1 (metas 1.4 y 1.5), ODS 3 (metas 3.4 y 3.9), ODS 8 (metas 8.2 y 8.4), ODS 9 (metas 9.1, 9.4 y 9.b), ODS 13, ODS 14 (metas 14.1, 14.2 y 14.3), ODS 15 (metas 15.1, 15.4, 15.5, 15.a y 15.b), ODS 16 (meta 16.6), y, ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).

7. Acceso a agua potable

Relación directa con el ODS 6 (metas 6.1, 6.3, 6.4, 6.5, 6.a y 6.b), reconociendo además que, en el ámbito de la GIRH, es significativo respecto a los ODS 1 (meta 1.4), ODS 2 (meta 2.2), ODS 3 (metas 3.4 y 3.9), ODS 5 (metas 5.4, 5.5 y 5.a), ODS 9 (metas 9.1, 9.4 y 9.b), ODS 11 (meta 11.1, 11.3, 11.5, 11.7, 11.a y 11.b), ODS 12 (meta 12.2), ODS 13, ODS 15 (metas 15.9 y 15.a), ODS 16 (meta 16.6) y, ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).

8. Acceso a saneamiento

Mismas relaciones que aquellas identificadas para los indicadores 1 y 2.

9. Calidad del agua potable

Al tener en cuenta que la calidad es uno de los tres factores fundamentales que permiten garantizar el adecuado ejercicio del derecho humano al agua (ver sección 6.1), la relación del indicador 9 con el ODS 6 (metas 6.1, 6.3, 6.5, 6.a y 6.b) es implícita. Asimismo, en el contexto de la GIRH, el indicador 9 presentaría las mismas relaciones con los demás ODS que el indicador 7.

10. Recuperación de nutrientes

Relación directa con el ODS 6 (metas 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.a y 6.b), pero también muestra vinculación con los ODS 1 (meta 1.4), ODS 2 (metas 2.3, 2.4 y 2.a), ODS 3 (metas 3.4 y 3.9), ODS 5 (metas 5.4 y 5.a), ODS 8 (metas 8.2 y 8.4), ODS 9 (metas 9.1, 9.4, 9.5, 9.a y 9.b), ODS 11 (meta 11.1, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.a y 11.b), ODS 12 (metas 12.2, 12.4, 12.5, 12.6 y 12.a), ODS 13, ODS 14 (metas 14.1, 14.2 y 14.3), ODS 15 (metas 15.1, 15.3, 15.5, 15.9 y 15.a), ODS 16 (metas 16.6 y 16.7), y, ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).

11. Recuperación de energía

Además de la relación directa con los ODS 6 (metas 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.a y 6.b) y ODS 7 (metas 7.1, 7.2, 7.3, 7.a y 7.b), también podría resultar de interés en el contexto de los ODS 1 (meta 1.4), ODS 5 (metas 5.4 y 5.a), ODS 8 (metas 8.2 y 8.4), ODS 9 (metas 9.1, 9.4, 9.5, 9.a y 9.b), ODS 11 (meta 11.1, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.a y 11.b), ODS 12 (metas 12.2, 12.4, 12.5, 12.6 y 12.a), ODS 13, ODS 16 (metas 16.6 y 16.7), y, ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).

12. Reciclaje de lodos

Relación directa con los ODS 6 (metas 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.a y 6.b), ODS 7 (metas 7.1, 7.2, 7.3, 7.a y 7.b), ODS 11 (metas 11.4, 11.6, 11.a, 11.b y 11.c) y ODS 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.6 y 12.a). Asimismo, en el contexto de la GIRH, tiene afinidad con los ODS 1 (meta 1.4), ODS 2 (metas 2.3, 2.4 y 2.a), ODS 3 (metas 3.4 y 3.9), ODS 8 (metas 8.2 y 8.4), ODS 9 (metas 9.1, 9.4, 9.5, 9.a y 9.b), ODS 13, ODS 15 (metas 15.1, 15.2, 15.3, 15.4, 15.5, 15.9, 15.a y 15.b), ODS 16 (metas 16.6 y 16.7), y, ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).

13. Eficiencia energética del tratamiento de aguas residuales

En consideración de lo propuesto por la GIRH y por la sostenibilidad, presentaría las relaciones con los ODS identificadas para los otros tres indicadores de la categoría IV.

14. Separación de caudales pluviales

Presenta una vinculación con los ODS idéntica a la mostrada por los indicadores 1, 2 y 8.

15. Antigüedad promedio del sistema de alcantarillado

Mismas relaciones que aquellas identificadas para los indicadores 1, 2, 8 y 14.

16. Fugas en los sistemas de agua

Relación evidente con los ODS 6 (metas 6.1, 6.3, 6.5, 6.a y 6.b) y ODS 9 (metas 9.1, 9.4 y 9.b). En el ámbito de la GIRH, presenta las mismas relaciones con los demás ODS que los indicadores 7 y 9.

17. Recuperación de costos operativos

Relación directa con los ODS 6 (metas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.a y 6.b) y ODS 8 (metas 8.2, 8.3 y 8.4). Podría relacionarse además con los ODS 1 (metas 1.4 y 1.5), ODS 3 (metas 3.4 y 3.9), ODS 5 (metas 5.4, 5.5 y 5.a), ODS 7 (metas 7.1, 7.2, 7.3, 7.a y 7.b), ODS 9 (metas 9.1, 9.4, 9.5, 9.a y 9.b), ODS 11 (metas 11.1, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.7, 11.a, 11.b y 11.c), ODS 12 (metas 12.2, 12.4, 12.5, 12.6, 12.7 y 12.a), ODS 13, ODS 14 (metas 14.1, 14.2 y 14.3), ODS 15 (metas 15.1, 15.3, 15.4, 15.5, 15.9, 15.a y 15.b), ODS 16 (metas 16.6 y 16.7) y ODS 17 (metas 16.6 y 16.7).

18. Espacio azul y verde

Relación directa con los ODS 11 (metas 11.1, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.7, 11.a, 11.b y 11.c), ODS 13 y ODS 15 (metas 15.1, 15.2, 15.3, 15.4, 15.5, 15.9, 15.a y 15.b). En el contexto de la GIRH, tiene además afinidad con el ODS 6 (metas 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 y 6.b), pero también con los ODS 1 (metas 1.4 y 1.5), ODS 2 (metas 2.3, 2.4 y 2.a), ODS 3 (metas 3.4 y 3.9), ODS 9 (metas 9.1, 9.4, 9.5, 9.a y 9.b), ODS 12 (metas 12.2), ODS 16 (metas 16.6 y 16.7), y, ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).

19. Adaptación climática

Relación directa implícita con el ODS 13.

20. Consumo de agua potable

Relación directa y trascendental con el ODS 6 (metas 6.1, 6.3, 6.4, 6.5, 6.a y 6.b). En el contexto de la GIRH, presenta además vínculos análogos con los ODS que aquellos identificados para los indicadores 7, 9 y 16.

21. Edificios climáticamente robustos

Relación directa con los ODS 7 (metas 7.1, 7.2, 7.3, 7.a y 7.b), ODS 9 (metas 9.1, 9.4, 9.5, 9.a y 9.b) y ODS 11 (metas 11.1, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.7, 11.a, 11.b y 11.c). Adicionalmente, en el ámbito de la sostenibilidad y de la GIRH sería también de importancia para los ODS 1 (meta 1.4), ODS 6, ODS 12 (meta 12.2), ODS 13, ODS 16 (16.6 y 16.7) y ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).

22. Gestión y planes de acción

Relación directa implícita con el ODS 6.

23. Participación Pública

Relación directa con los ODS 5 (meta 5.5), ODS 11 (meta 11.3) y ODS 16 (metas 16.3, 16.7 y 16.8). En el ámbito de la GIRH, su vinculación con el ODS 6 y todas sus metas es de gran importancia.

24. Medidas de eficiencia hídrica

Relación directa con el ODS 6 (metas 6.1, 6.3, 6.4, 6.5, 6.a y 6.b). Adicionalmente, en el ámbito de la sostenibilidad se relaciona también con los ODS 9 (metas 9.1, 9.4, 9.5, 9.a y 9.b), ODS 11 (metas 11.1, 11.3, 11.5, 11.7, 11.a y 11.b), ODS 12 (meta 12.2), ODS 13, ODS 15 (metas 15.9 y 15.a), ODS 16 (metas 16.6 y 16.7) y ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).

25. Atractivo

Relación directa con el ODS 6 (metas 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.a y 6.b), pero también tiene vinculación con los ODS 3 (metas 3.4 y 3.9), ODS 8 (meta 8.9), ODS 9 (metas 9.1, 9.4, 9.5, 9.a y 9.b), ODS 11 (metas 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.7, 11.a y 11.b), ODS 12 (metas 12.2, 12.4, 12.5, 12.6, 12.a y 12.b), ODS 16 (metas 16.6 y 16.7) y ODS 17 (metas 17.6 y 17.7).