

Universidad Andina Simón Bolívar

Sede Ecuador

Área de Ambiente y Sustentabilidad

Maestría en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo

Calidad del agua y sustentabilidad en cuencas Amazónicas

Caso del río Tena, Ecuador

Lilian Lizeth Sabando Bravo

Tutor: Jorge Enrique Forero

Quito, 2026

Trabajo almacenado en el Repositorio Institucional UASB-DIGITAL con licencia Creative Commons 4.0 Internacional		
	Reconocimiento de créditos de la obra No comercial Sin obras derivadas	
Para usar esta obra, deben respetarse los términos de esta licencia		

Cláusula de cesión de derecho de publicación

Yo, Lilian Lizeth Sabando Bravo, autora del trabajo intitulado “Calidad del agua y sustentabilidad en cuencas Amazónicas: caso del río Tena, Ecuador”, mediante el presente documento dejo constancia de que la obra es de mi exclusiva autoría y producción, que la he elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Magíster de Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.

1. Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 24 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que, en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entrego a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

31 de marzo de 2026

Firma: _____



Resumen

Esta tesis de investigación analiza la relación entre la calidad del agua y la sustentabilidad en la microcuenca del río Tena, en la Amazonía ecuatoriana, durante el periodo 2018–2025, desde un enfoque hidrosocial que integra dimensiones biofísicas, sociales y territoriales. Parte del reconocimiento de que los problemas hídricos contemporáneos no pueden comprenderse únicamente desde perspectivas técnicas, sino que responden a procesos complejos donde interactúan dinámicas de uso del suelo, crecimiento poblacional, infraestructura y decisiones institucionales. En este marco, el agua es entendida como un proceso socio-natural, cuya calidad refleja las transformaciones territoriales y las presiones antropogénicas acumuladas en el tiempo.

El estudio adopta como base conceptual el ciclo hidrosocial y la noción de territorios hidrosociales, los cuales permiten interpretar la cuenca no solo como una unidad física, sino como un espacio dinámico donde confluyen relaciones de poder, prácticas sociales e infraestructuras que condicionan el acceso, uso y gestión del agua. Desde esta perspectiva, la calidad del agua se plantea como un indicador sintético de la sustentabilidad socioambiental, al vincular el estado ecológico del recurso con las condiciones de vida de la población y la capacidad institucional para su gestión.

Metodológicamente, la investigación integra variables de calidad y cantidad del agua, cambio de uso del suelo y dinámica poblacional, con el fin de identificar relaciones y evaluar su incidencia en la sustentabilidad de la microcuenca. Para ello, se construye un índice de sustentabilidad hidrosocial, que permite analizar de manera conjunta estas dimensiones y evidenciar tendencias territoriales. Los resultados muestran que las variaciones en la calidad del agua están asociadas al crecimiento urbano, la expansión de actividades socioeconómicas y la limitada infraestructura de saneamiento, configurando presiones que afectan el equilibrio del sistema hídrico. En conclusión, se resalta la necesidad de enfoques integrados para la gestión del agua que consideren tanto las dimensiones ambientales como sociales características del territorio hidrosocial.

Palabras clave: calidad del agua, sustentabilidad hidrosocial, ciclo hidrosocial, dimensiones socio-ecológicas, territorios hidrosociales, amazonía ecuatoriana

Dedicado a mi gatito Thomas

Hay distintas maneras de demostrar el amor y distintas formas de amar.

Yo he amado y me han amado tanto y tan profundo que a veces me da miedo pensar que esa palabra se trata de algo tan efímero como la gota de lluvia que precipita de una nube en el río y baja por la montaña sin mirar atrás.

Luego te veo a mi lado, amaneciéndote junto a mí, acompañándome siempre y esperándome atento cada vez que me voy y entonces sé, que el significado de la palabra amor va mucho más allá de mi existencia y que, al igual que esa gota de lluvia algún día regresará a ser una nube y así se completará su ciclo, aunque en algún momento ya no estés en mi vida, tú y yo volveremos a encontrarnos algún día, en algún momento y ese será nuestro ciclo de amor eterno...

Gracias por estos 9 años juntos

Agradecimientos

Agradezco a Dios y la Virgen María por brindarme salud y la estabilidad emocional para permitirme avanzar en todos mis proyectos de vida con fe y devoción.

A mi familia, por ser mi pilar y apoyarme en todos mis pasos, tanto personales como profesionales, gracias por estar presentes en los momentos más felices de mi vida.

A Juseth Enrique por su amor incondicional y a mis amigos Daniela y Oscar, gracias por ser la luz y el impulso que me hace ver que la realidad es un hecho imposible de evitar y que siempre la debemos afrontar.

A la Universidad Andina Simón Bolívar, sede Ecuador, especialmente al área de Ambiente y Desarrollo, gracias por brindarme una beca de colegiatura completa que me permitió culminar un paso más de mi carrera profesional y conocer otras perspectivas, costumbres y tradiciones mediante las experiencias que cada uno de mis compañeros compartieron conmigo tanto en el programa de maestría de Cambio Climático como en la integración con otros programas de intercambio.

A mi tutor por su dedicación, tiempo y conocimiento, que aportaron a este trabajo de investigación para hacerlo más social, crítico y con una visión incluso más holística.

Finalmente, agradezco a todas las personas y colectivos que me acompañaron y fueron parte de este proceso, especialmente a la Fundación EcoCiencia que fue parte de esta investigación.

Tabla de contenidos

Figuras y tablas.....	13
Introducción.....	15
Capítulo primero: Características del agua y la sustentabilidad: bases conceptuales en territorios hidrosociales	21
1. Agua, sociedad y sustentabilidad: una relación inseparable.....	21
2. El ciclo hidrosocial: agua como proceso socio-natural	27
3. Territorios hidrosociales: de la cuenca física al territorio socioambiental	31
4. Calidad del agua como indicador de sustentabilidad socioambiental	35
5. Expresiones territoriales del agua: una clave para evaluar la sustentabilidad.....	39
Capítulo segundo: Déficit hídrico en la amazonía: relevancia del agua para la vida.....	43
1. El agua como eje de las dinámicas socioambientales: Demanda hídrica de la Amazonía para la evaluación de sustentabilidad	44
2. Caracterización territorial amazónica para comprender el déficit hídrico	45
2.1. Contexto biofísico general de la Amazonía Ecuatoriana.....	46
2.2. Cuenca del río Napo: un sistema hidrosocial estratégico	48
3. Microcuenca del río Tena como territorio hidrosocial	49
4. Hidrología del río Tena.....	55
4.1. Análisis de uso de suelo.....	57
4.2. Análisis de Cantidad de Agua traducida en disponibilidad	60
5. Evaluaciones de calidad del agua del río Tena	62
6. Dinámica poblacional del territorio hidrosocial	66
7. Articulación metodológica para el análisis de la sustentabilidad	70
7.1. Ponderación de variables para la evaluación de la sustentabilidad en la microcuenca del río Tena	70
Capítulo tercero: Análisis del nexo entre calidad del agua y sustentabilidad: Resultados y evaluación en la microcuenca del río Tena.....	73
1. Cambios en el uso y gestión del suelo en la microcuenca del río Tena.....	74
1.1. Caracterización del uso del suelo en la microcuenca del río Tena	74
1.2. Dinámica y evolución temporal del uso y gestión del suelo e implicaciones para la sustentabilidad hidrosocial (2018–2024).....	77

2. Resultados del Índice de Estrés Hídrico (IEH).....	83
2.1. Caracterización hidrológica de la microcuenca.....	83
2.2. Variación temporal del IEH	87
2.3. Distribución espacial del IEH.....	88
3. Resultados de la calidad del agua (CA).....	91
3.1. Análisis de parámetros fisicoquímicos	92
3.2. Variación temporal de la calidad del agua	94
3.3. Distribución espacial de la calidad del agua.....	96
3.4. Interpretación socioambiental.....	99
4. Dinámica poblacional (DP)	101
4.1. Evolución de la población	101
4.2. Presión demográfica sobre el sistema hídrico	104
5. Integración de los componentes del ISH: Cálculo y resultados del Índice de Sustentabilidad Hidrosocial (ISH).....	106
5.1. Relación entre US, IEH, CA y DP	107
5.2. Presiones hidrosociales identificadas	108
5.3. Resultados del ISH: Estructura final y distribución espacio-temporal.....	109
6. Evaluación de la sustentabilidad de la microcuenca	112
6.1. Contraste de las percepciones poblacionales de la microcuenca.....	113
6.2. Interpretación final de los resultados.....	116
Conclusiones.....	119
Obras citadas.....	121
Anexos.....	137
Anexo 1: Base de datos y entrevistas	137

Figuras y tablas

Figura 1. Metabolismo del agua dentro de una sociedad	23
Figura 2. Ciclo del agua como un recurso dentro del metabolismo social, que lo vuelve ciclo hidrosocial.....	29
Figura 3. Evaluación del metabolismo social del agua dentro de un territorio a través del ciclo hidrosocial.....	35
Figura 4. Regímenes de precipitación de la amazonía ecuatoriana	47
Figura 5. Localización de la microcuenca del río Tena dentro de Sudamérica, como parte de la cuenca del Río Napo (vertiente del río Amazonas)	50
Figura 6. Microcuenca del río Tena como territorio hidrosocial	53
Figura 7. Regímenes de precipitación del territorio de estudio	56
Figura 8. Evolución del uso y gestión del suelo en la microcuenca del río Tena (2018–2024).....	78
Figura 9. Cambios que destacan del 2018 al 2024 dentro de la dinámica de uso y gestión del suelo de la microcuenca del río Tena.....	80
Figura 10. Variación temporal del índice de estrés hídrico (IEH) en la microcuenca del río Tena (2018–2025).....	87
Figura 11. Localización de los tramos analizados del río Tena y del sistema de abastecimiento de agua potable en la microcuenca	90
Figura 12. Distribución espacial de los puntos de monitoreo de calidad del agua en la microcuenca del río Tena.....	98
Figura 13. Evolución de la población en la microcuenca del río Tena (2018–2025) ...	102
Figura 14. Distribución espacial (2018 - 2025) de la población en la microcuenca del río Tena.	104
Figura 15. Evolución temporal del ISH y sus componentes (2018-2025).....	111
Figura 16. Percepción promedio de la población con respecto al recurso hídrico	114
Tabla 1. Clasificación de cobertura y usos de suelo de MapBiomias a escala regional ..	58
Tabla 2. Pesos asignados para la normalización de porcentajes de área en la evaluación de US	59
Tabla 3. Límites normativos del TULSMA para agua dulce según uso	63

Tabla 4. Ecuaciones empleadas para la normalización de parámetros según sus límites permisibles.....	65
Tabla 5. Preguntas aplicadas a la población que habita dentro de la microcuenca del río Tena	69
Tabla 6. Variables, ponderaciones y referencias conceptuales para la evaluación de sustentabilidad.....	71
Tabla 7. Área [km ²] por clase en la microcuenca del río Tena del período de estudio...	75
Tabla 8. Cambio neto y tendencia de uso y gestión de suelo en la microcuenca del río Tena	82
Tabla 9. Promedio anual de caudal por tramo de río de la microcuenca del río Tena	84
Tabla 10. Oferta, demanda hídrica y generación de aguas residuales entre 2018–2025	85
Tabla 11. Máximo, mínimo y promedio de parámetros reportados en monitoreos de calidad del agua (2018-2025)	94
Tabla 12. Evolución temporal del índice CA en la microcuenca del río Tena (2018–2025)	95
Tabla 13. Índice de Sustentabilidad Hidrosocial calculado a partir de los componentes de estudio.....	110

Introducción

El agua dulce constituye uno de los recursos esenciales para el sostenimiento de los ecosistemas y el desarrollo de las sociedades humanas. Sin embargo, en las últimas décadas el estado de los sistemas hídricos ha mostrado signos crecientes de deterioro a escala global. Diversos informes recientes indican que la proporción de masas de agua con buena calidad ha disminuido en varios países, mientras que los niveles de estrés hídrico asociados a la extracción de agua dulce continúan incrementándose en relación con la disponibilidad del recurso (UNESCO 2024). Estas tendencias evidencian que la presión sobre los recursos hídricos se intensifica a medida que las sociedades expanden sus actividades productivas y transforman los territorios donde se insertan los sistemas fluviales.

El crecimiento poblacional y el modelo de desarrollo asociado a la expansión agrícola, industrial y urbana han incrementado de manera sostenida la demanda de agua en todo el mundo. Desde la revolución industrial, las sociedades han ampliado significativamente la extracción de recursos hídricos para abastecer actividades domésticas, agrícolas e industriales (FAO 1996; Marín 2003). Este aumento en la demanda ha estado acompañado por una creciente degradación de la calidad del agua debido a la descarga de contaminantes, la modificación de los ecosistemas fluviales y la intensificación de los procesos de urbanización (Hunt et al. 2012; Vörösmarty et al. 2010). En consecuencia, el acceso a agua de buena calidad se ha convertido en uno de los principales desafíos para la gestión sostenible de los recursos naturales y para el bienestar de las poblaciones humanas.

La interacción entre agua y sociedad se manifiesta especialmente en la relación entre la disponibilidad del recurso y su calidad. A medida que aumenta la demanda de agua en contextos urbanos, agrícolas o industriales, también se incrementan los riesgos de contaminación y deterioro de los cuerpos hídricos, particularmente en territorios con mayor densidad poblacional o con alta concentración de actividades económicas (FAO 1996; Steduto et al. 2012). En estos contextos, la superposición de diferentes usos del territorio puede generar presiones acumulativas sobre los sistemas hídricos, afectando tanto la disponibilidad del recurso como el equilibrio ecológico de los ríos y cuencas hidrográficas. Comprender estas relaciones resulta fundamental para analizar los procesos

de sustentabilidad territorial y para diseñar estrategias de gestión que permitan equilibrar las necesidades sociales con la conservación de los ecosistemas.

Durante mucho tiempo, el estudio del agua ha estado dominado por enfoques hidrológicos que analizan los sistemas fluviales principalmente desde su dimensión físico-natural. Sin embargo, diversas corrientes de investigación han señalado que esta perspectiva resulta insuficiente para comprender las complejas interacciones entre agua, sociedad y territorio. Desde el enfoque del ciclo hidrosocial, el agua es entendida como un elemento que se produce y transforma a través de la interacción entre procesos naturales, infraestructuras técnicas, relaciones sociales y marcos institucionales (Swyngedouw 1999; Linton 2010; Linton y Budds 2014). Esta perspectiva permite analizar los sistemas hídricos como configuraciones socio-ecológicas dinámicas en las que las decisiones humanas influyen directamente en la forma en que el agua circula, se distribuye y se transforma en el territorio.

En este marco conceptual, las cuencas hidrográficas pueden interpretarse como territorios hidrosociales, espacios en los que las dinámicas ambientales, sociales y políticas se articulan en torno al uso y gestión del agua (Boelens 2015; Boelens et al. 2016). Desde esta perspectiva, la calidad del agua no constituye únicamente un indicador ambiental, sino también un reflejo de las relaciones sociales y de las transformaciones territoriales que influyen en la gestión del recurso hídrico. Analizar las variaciones en la calidad del agua permite, por tanto, identificar las presiones antropogénicas que afectan los sistemas fluviales y comprender su relación con los procesos de sustentabilidad de los territorios.

Estas discusiones adquieren especial relevancia en la región amazónica, uno de los sistemas hidrológicos más extensos e importantes del planeta. La Amazonía concentra una proporción significativa del agua dulce superficial a nivel global y desempeña un papel fundamental en la regulación climática y en el mantenimiento del ciclo hidrológico regional (Espinoza et al. 2010; Guyot et al. 2012). No obstante, en las últimas décadas este territorio ha experimentado profundas transformaciones asociadas a la expansión de la frontera agrícola, el desarrollo de infraestructuras, la explotación de recursos naturales y el crecimiento de ciudades intermedias en territorios amazónicos (Larrea 2021; Encalada et al. 2024), lo cual ha generado nuevas presiones sobre los ecosistemas fluviales modificando las dinámicas socioambientales de las cuencas hidrográficas. Sin embargo, persisten vacíos en la comprensión integrada de cómo estas presiones afectan simultáneamente la calidad del agua y la sustentabilidad territorial a escalas locales.

A pesar de la importancia de estos procesos, los estudios sobre la sustentabilidad de cuencas amazónicas han tendido a centrarse en aspectos hidrológicos o ecológicos, prestando menor atención a las interacciones entre calidad del agua, transformaciones territoriales y dinámicas sociales en escalas locales. Diversas investigaciones han abordado la calidad del agua desde enfoques biofísicos, destacando su relación con procesos de degradación asociados al uso del suelo y contaminación difusa (Allan 2004; Carpenter et al. 1998; Vörösmarty et al. 2010). En el contexto amazónico específicamente, estudios recientes evidencian que las presiones antropogénicas están superando los procesos naturales, afectando de manera acelerada los ecosistemas acuáticos (Albert et al. 2023; Encalada et al. 2024). Asimismo, investigaciones sobre cambio de uso de suelo y dinámicas territoriales han demostrado impactos significativos sobre la hidrología y la calidad del agua, particularmente en zonas de expansión urbana y actividades extractivas (Foley et al. 2005; RAISG 2022; Mena et al. 2011).

Desde una perspectiva socio-política, el enfoque de los territorios hidrosociales ha permitido comprender el agua como un producto de relaciones de poder, infraestructura y prácticas sociales, aunque su aplicación en contextos urbanos amazónicos sigue siendo limitada (Swyngedouw 1999; Boelens et al. 2016; Linton y Budds 2014; Alba et al. 2025). En el caso ecuatoriano, si bien existen aportes relevantes sobre conflictos socioambientales, extractivismo y sostenibilidad en la Amazonía (Larrea 2021; Fontaine 2003), aún es limitada la comprensión integrada de sistemas hidrosociales urbanos que articulen calidad del agua, presiones antropogénicas y sustentabilidad en escalas locales. En este sentido, persiste un vacío en la literatura respecto a estudios que integren estas dimensiones desde un enfoque interdisciplinario y territorializado, particularmente en ciudades intermedias amazónicas como Tena en Ecuador.

En la ciudad de Tena, ubicada en la provincia de Napo en la Amazonía ecuatoriana, estos procesos son particularmente visibles ya que ha experimentado cambios territoriales acelerados en las últimas décadas (Ecuador INEC 2022, sec. Napo-Tena; Ecuador GAD Tena 2025; WorldPop, y Bondarenko 2020). Su desarrollo urbano se encuentra estrechamente vinculado con la dinámica de la microcuenca del río Tena, sistema hídrico que atraviesa el territorio urbano, periurbano y rural que es el área de estudio de esta investigación. Este territorio ha experimentado transformaciones territoriales aceleradas, caracterizadas por expansión urbana, incremento de descargas domésticas y cambios en el uso del suelo.

La microcuenca del río Tena presenta una alta disponibilidad hídrica y relevancia ecológica. Conformada por una gran reserva ecológica (Reserva Ecológica Colonso Chalupas – RBCC) en su cabecera, de la cual se abastece la planta de agua potable de la ciudad del Tena. Esta microcuenca cumple funciones ambientales, sociales y económicas fundamentales, al proveer agua para diferentes usos, sostener actividades recreativas y turísticas, y contribuir al funcionamiento ecológico del territorio. Sin embargo, el crecimiento urbano, la expansión de asentamientos humanos y las transformaciones en el uso del suelo generan presiones sobre el sistema hídrico que pueden manifestarse en cambios en la calidad del agua y por ende en la sustentabilidad del territorio. Estas condiciones convierten a la microcuenca río Tena en un sistema estratégico para analizar las interacciones entre calidad del agua, presiones antropogénicas y sustentabilidad urbana.

En este sentido, existe la necesidad de desarrollar enfoques que integren variables ambientales y socio-territoriales para comprender de manera más completa los procesos que influyen en la sustentabilidad de las cuencas hidrográficas amazónicas y cómo estos se ven reflejados en la calidad del agua. Analizar la calidad del agua desde una perspectiva hidrosocial permite avanzar en esta dirección, al considerar el agua como un indicador de las transformaciones que ocurren en el territorio y de las presiones antropogénicas que afectan los sistemas hídricos.

La presente investigación se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo se relacionan las variaciones en la calidad del agua del río Tena y las presiones antropogénicas asociadas con la sustentabilidad de la ciudad de Tena en el periodo 2018–2025? En coherencia con ello, el objetivo general es determinar cómo las variaciones en la calidad del agua del río Tena y las presiones antropogénicas asociadas a esta influyen en la sustentabilidad de la ciudad de Tena durante dicho periodo. De este objetivo se derivan objetivos específicos orientados a caracterizar la calidad del agua, identificar las principales presiones antropogénicas y evaluar su relación con dimensiones de la sustentabilidad. Con este propósito, el estudio integra información ambiental y territorial mediante la construcción de un Índice de Sustentabilidad Hidrosocial, que permite analizar de manera conjunta las relaciones entre calidad del agua, transformaciones territoriales y presiones antropogénicas en la microcuenca dentro de un marco metodológico que integra varios componentes de investigación.

Metodológicamente, la investigación adopta un enfoque mixto que combina técnicas cuantitativas y cualitativas. Se emplea el análisis de datos de calidad del agua

mediante índices sintéticos, el procesamiento de información hidrometeorológica y el análisis de cambios en el uso del suelo (Holguín et al. 2025; Ecuador MAE 2016), complementados con herramientas de análisis territorial. Paralelamente, se incorporan métodos cualitativos (WorldPop, y Bondarenko 2020; Likert 1932; Kvale 2010; Flick 2015) como revisión documental y análisis de contexto socio-institucional (Ecuador GAD Tena 2025; Ecuador GADM Tena 2025; Ecuador GADP Muyuna 2023), lo que permite una comprensión integral del sistema hidrosocial. Este enfoque se fundamenta en la necesidad de integrar múltiples fuentes de información para abordar la complejidad de la sustentabilidad en cuencas amazónicas mediante la integración de los componentes analizados en esta investigación (Creswell y Plano Clark 2018).

Finalmente, este trabajo de investigación se organiza en tres capítulos principales enmarcados por la presente introducción y el apartado de conclusiones. El primer capítulo desarrolla el marco conceptual de la investigación, abordando los debates teóricos sobre el ciclo hidrosocial, los territorios hidrosociales y la calidad del agua como indicador de sustentabilidad. El segundo capítulo presenta el contexto territorial de la Amazonía ecuatoriana y de la microcuenca del río Tena, así como la metodología utilizada para el análisis de las variables de estudio. El tercer capítulo expone los resultados del análisis de la calidad del agua, los cambios en el uso del suelo y la dinámica poblacional, integrando estos elementos en la evaluación de la sustentabilidad hidrosocial de la microcuenca. Finalmente, el documento concluye con una síntesis de los principales hallazgos de la investigación y sus implicaciones para la comprensión de las relaciones entre calidad del agua, territorio y sustentabilidad en contextos amazónicos.

Capítulo primero

Características del agua y la sustentabilidad: bases conceptuales en territorios hidrosociales

El agua constituye un elemento central en la reproducción de la vida, en la organización de los territorios y en la configuración de las relaciones sociales. Más allá de su dimensión biofísica, el agua se encuentra profundamente imbricada en procesos históricos, políticos, económicos y culturales que determinan su acceso, uso, gestión y conservación. En este sentido, los problemas asociados a la calidad del agua no pueden comprenderse únicamente desde enfoques técnicos o normativos, sino que requieren marcos conceptuales capaces de integrar las múltiples dimensiones que articulan las relaciones entre sociedad y naturaleza.

Este capítulo presenta el marco teórico–conceptual que sustenta la presente investigación, orientado a comprender el nexo entre la calidad del agua y las dinámicas sociales en el territorio, desde una perspectiva de sustentabilidad socioambiental. A partir de aportes provenientes de la ecología política del agua, el enfoque del ciclo hidrosocial, la noción de territorios hidrosociales y las discusiones contemporáneas sobre sustentabilidad, se establecen los conceptos clave que serán empleados en los capítulos posteriores para el análisis del caso de estudio.

La construcción de este marco conceptual no persigue únicamente la definición de términos, sino la articulación de un enfoque analítico que permita interpretar la calidad del agua como una expresión territorial de procesos socioambientales complejos. De este modo, el capítulo sienta las bases teóricas necesarias para abordar, en los capítulos siguientes, el análisis contextual y metodológico del sitio de estudio (la microcuenca del río Tena), así como la evaluación de sus condiciones de sustentabilidad a partir de indicadores biofísicos y sociales.

1. Agua, sociedad y sustentabilidad: una relación inseparable

Como se ha mencionado en el prólogo de este capítulo, el agua constituye uno de los elementos esenciales para la vida, el bienestar humano y el desarrollo de las sociedades. Su disponibilidad y calidad condicionan directamente la salud pública, la seguridad alimentaria, las actividades productivas y la organización territorial,

especialmente en contextos urbanos y periurbanos de países en desarrollo. Sin embargo, pese a su importancia vital, el análisis del agua ha sido tradicionalmente abordado desde enfoques predominantemente técnicos y biofísicos, centrados en su cuantificación, distribución y tratamiento, dejando en segundo plano las dimensiones sociales, políticas, y territoriales que influyen de manera decisiva en su estado y gestión.

En el contexto actual de crisis hídrica global, caracterizada por el crecimiento demográfico, la urbanización acelerada, el cambio de uso de suelo y el deterioro de los ecosistemas, resulta cada vez más evidente que los problemas relacionados con el agua no pueden explicarse únicamente a partir de procesos naturales. Diversos informes internacionales han señalado que el acceso insuficiente a servicios de agua potable segura y saneamiento continúa siendo uno de los principales factores de riesgo para la salud humana, particularmente en regiones de América Latina, África y Asia, donde persisten profundas desigualdades socioeconómicas y territoriales (UN Water 2024; WWAP 2017). Estudios recientes estiman que millones de personas aún consumen agua de fuentes contaminadas, lo que se traduce en una alta incidencia de enfermedades de origen hídrico y en impactos negativos sobre el desarrollo humano (Aboah y Miyittah 2022; Bain, Johnston, y Slaymaker 2020).

En los estudios ambientales contemporáneos se reconoce que el agua no puede ser comprendida únicamente como un recurso natural, sino como un elemento central del metabolismo social. Este concepto se refiere al conjunto de procesos mediante los cuales las sociedades humanas se apropian, transforman, distribuyen y desechan materiales y energía (Silva Rodríguez de San Miguel 2019). En el marco de este metabolismo, el agua circula como flujo vital que sostiene actividades productivas, domésticas, turísticas, agrícolas e industriales. Así, la dinámica social del agua se articula en torno a prácticas cotidianas y usos económicos que son regulados por las decisiones institucionales, que determinan las condiciones de su disponibilidad, calidad y acceso (Figura 1).

Este enfoque pone de manifiesto que las relaciones sociedad-agua no son neutrales ni espontáneas; están mediadas por estructuras de poder, arreglos institucionales, desigualdades históricas y formas diferenciadas de habitar el territorio. En este escenario, la calidad del agua emerge como una variable clave para comprender las interacciones entre sociedad y naturaleza. Más allá de su definición técnica basada en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, la calidad del agua refleja el resultado acumulado de múltiples procesos sociales, económicos y territoriales que inciden sobre los cuerpos de agua a lo largo del tiempo. El vertido de aguas residuales sin tratamiento,

la expansión urbana desordenada, las prácticas agrícolas intensivas, la deforestación y la insuficiencia de infraestructura sanitaria son solo algunos ejemplos de presiones antropogénicas que alteran la calidad del agua y evidencian las formas en que las sociedades producen, usan y transforman este recurso (Vörösmarty et al. 2010).



Figura 1. Metabolismo del agua dentro de una sociedad
Fuente: Adaptada de Silva Rodríguez de San Miguel (2019)
Elaboración propia

Desde esta perspectiva, la calidad del agua no puede ser entendida como una condición exclusivamente natural ni como un problema meramente técnico, sino como una expresión concreta de las relaciones sociales que se establecen en torno al agua. Investigaciones sobre acceso a servicios hídricos han demostrado que factores socioeconómicos, institucionales y territoriales influyen de manera determinante en la disponibilidad de *agua segura*, especialmente en áreas rurales y ciudades intermedias de países de ingresos bajos y medios (Gomez, Perdiguero, y Sanz 2019; Amorocho-Daza, Van Der Zaag, y Sušnik 2023). En términos normativos, el acceso a “*agua segura*” hace referencia a agua potable proveniente de fuentes mejoradas que está disponible cuando se necesita, ubicada en el lugar de uso y libre de contaminación fecal y sustancias químicas prioritarias, conforme a los criterios establecidos por la Organización Mundial

de la Salud (WHO por sus siglas en inglés) y el Programa Conjunto WHO/Unicef de Monitoreo del Abastecimiento de Agua, Saneamiento e Higiene (Unicef y WHO 2023). Desde esta definición, la seguridad del agua no se limita a parámetros fisicoquímicos, sino que integra dimensiones de accesibilidad, continuidad y gestión institucional. Así, las desigualdades en el acceso al agua de calidad revelan patrones más amplios de exclusión social, gobernanza deficiente y planificación territorial limitada.

En este sentido, la relación entre agua y sustentabilidad adquiere una relevancia central ya que, se debe asegurar la disponibilidad de agua limpia y segura como una garantía para las futuras generaciones. De hecho, el término *sustentable* ha tenido varias definiciones hasta el día de hoy dependiendo del contexto a su uso. En este trabajo, la sustentabilidad se entiende desde una perspectiva socioambiental, en la que el agua constituye un elemento estratégico para sostener las condiciones ecológicas, sociales y económicas del territorio. Bajo este enfoque, el deterioro de la calidad del agua refleja presiones derivadas de la expansión urbana, el cambio de uso del suelo y otras actividades antrópicas que transforman los ecosistemas y condicionan el bienestar de la población.

Desde el año 1962 en que la bióloga Rachel Carson escribió su libro *Primavera Silenciosa* (*Silent Spring*), se habla de un futuro con irreparables pérdidas ambientales a causa de la contaminación. En 1970 como una afirmación al hecho visible de la contaminación, el Congreso de los Estados Unidos establece la primera agencia gubernamental dedicada exclusivamente al cuidado del medio ambiente, la EPA (Environmental Protection Agency). Dos años después, en Estocolmo, Suecia, se llevó a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente Humano. Esta conferencia fue la precursora de lo que después se reconocería como *sustentabilidad*. En ese mismo año (1972) también se crea el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Producto del inminente cuidado que debía tener la naturaleza, la ONU crea la Comisión Mundial de Ambiente y Desarrollo (WCED, por sus siglas en inglés) en 1983. Seguidamente, en 1987 la WCED publica el informe “Our Common Future”, donde se establece el concepto de desarrollo sustentable.

Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.

The common theme throughout this strategy for sustainable development is the need to integrate economic and ecological considerations in decision making. They are, after all, integrated in the workings of the real world. This will require a change in attitudes and objectives and in institutional arrangements at every level (UN Water y World Commission on Environment and Development 1987, 37 y 48).

Esta premisa vincula la sustentabilidad como una responsabilidad que deben tomar la sociedad para garantizar la disponibilidad de los recursos naturales en general, y para el tema de esta tesis en específico, del recurso hídrico de calidad. En la actualidad, el término sustentable se vincula con la agenda 2030 propuesta por la ONU junto con sus objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Una gran parte de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) hace referencia a la garantía de los recursos naturales y específicamente del agua para las futuras generaciones.

El ODS 6, de Agua limpia y saneamiento analiza el vínculo que se genera entre calidad del agua y sustentabilidad. Este objetivo se centra en “garantizar el acceso universal y equitativo al agua potable y saneamiento adecuado”. Además, incluye metas sobre el acceso universal a agua potable segura y accesible, mejora en la calidad del agua reduciendo la contaminación, el uso eficiente y sostenible del agua en todos los sectores y la gestión integrada de los recursos hídricos a nivel de cuencas.

Existen también otras metas relacionadas con el ODS6; por ejemplo, el ODS13 de “Acción por el clima”, ODS14 de “Vida submarina” ODS15 de “Vida de ecosistemas terrestres” y, ODS11 de “Ciudades y comunidades sostenibles” que mencionan la importancia de mantener las fuentes de agua en calidades y cantidades sostenibles. Por último, el ODS11 analiza también el desarrollo de las ciudades y comunidades que garantizan el adecuado uso de los recursos hídricos dentro de sus metas, garantizando el “acceso equitativo a los recursos hídricos y mejorar la gestión del agua en entornos urbanos, reduciendo la contaminación y aumentando la resiliencia ante fenómenos climáticos extremos”.

La *sustentabilidad socioambiental* del agua implica no solo garantizar la disponibilidad del recurso para las generaciones presentes y futuras, sino también asegurar que su gestión contribuya al bienestar social, la equidad y la protección de los ecosistemas. A diferencia de enfoques centrados exclusivamente en la eficiencia técnica o en el cumplimiento normativo, la sustentabilidad socioambiental reconoce que los problemas del agua están profundamente vinculados con los modelos de desarrollo, las decisiones políticas y las dinámicas territoriales que caracterizan a cada contexto.

Desde esta perspectiva, la sustentabilidad hídrica también depende de la conservación de los ecosistemas que sostienen los flujos y la regulación del agua. La cobertura vegetal, los suelos, las quebradas tributarias y la biodiversidad asociada a los sistemas acuáticos cumplen funciones ecológicas esenciales, como la infiltración, la retención de sedimentos y la autorregulación biogeoquímica. Por ello, la degradación de

estos componentes afecta no solo la disponibilidad del recurso para uso humano, sino también la integridad ecológica del territorio y su capacidad de resiliencia.

La literatura especializada ha señalado que los objetivos de desarrollo sostenible, en particular el ODS 6 relativo al acceso al agua limpia y saneamiento, requieren ser interpretados desde una mirada integral que incorpore las condiciones locales y las desigualdades estructurales existentes en los territorios (UN Water 2024; Bain, Johnston, y Slaymaker 2020). En este marco, la calidad del agua se convierte en un indicador sintético que permite evaluar no solo el estado ambiental de una cuenca, sino también las capacidades institucionales, las prácticas sociales y las condiciones de vida de la población que depende de ella.

Asimismo, el análisis de la calidad del agua resulta especialmente relevante en contextos urbanos y periurbanos en expansión, donde el crecimiento poblacional y la demanda de servicios básicos suelen superar la capacidad de los sistemas de abastecimiento y saneamiento. La falta de planificación adecuada y de inversiones sostenidas en infraestructura hídrica contribuye a la degradación de las fuentes de agua, generando un círculo vicioso en el que la contaminación del recurso afecta directamente a la salud y al bienestar de las comunidades, y a su vez limita las posibilidades de desarrollo sostenible (Barrionuevo Mora 2016; Malolo et al. 2021).

Por otro lado, la literatura clásica sobre agua en el desarrollo sostenía que el acceso al agua limpia era condición basal para mejorar la salud pública, reducir la mortalidad infantil y elevar los índices de bienestar (FAO 1996; WWAP 2017). Sin embargo, estudios más recientes han mostrado que las desigualdades en torno al agua son la expresión de procesos sociohistóricos y territoriales complejos, en los que intervienen instituciones, actores comunitarios, empresas extractivas, gobiernos locales, movimientos sociales y dinámicas del mercado (Budds 2012; Swyngedouw, Kaïka, y Castro 2016). Es en este giro conceptual donde emergen las perspectivas hidrosociales, que serán desarrolladas en detalle en este capítulo.

Desde esta óptica, el agua se configura como un actor socio-natural cuya disponibilidad, calidad y circulación son moldeadas por relaciones sociales, tecnológicas, políticas y territoriales. En regiones como la Amazonía, donde el agua ha sido históricamente percibida como un recurso abundante, estas problemáticas adquieren características particulares. A pesar de la elevada disponibilidad hídrica, los procesos recientes de urbanización, cambio de uso de suelo y presión sobre los ecosistemas han comenzado a evidenciar tensiones crecientes en torno a la calidad del agua y su gestión

(Márquez 2023; Larrea 2021; Mena et al. 2011; RAISG 2022; Capparelli et al. 2020; O. E. Lucas-Solis 2021). Estos procesos ponen en cuestión la idea de abundancia ilimitada y revelan la necesidad de analizar el agua desde enfoques que integren tanto sus dimensiones biofísicas como sociales. Esta comprensión resulta fundamental para analizar la microcuenca del río Tena, donde los cambios en el uso del suelo, el crecimiento poblacional, la expansión turística, la agricultura y otros usos del territorio inciden en el estado del recurso hídrico y en la sustentabilidad ecológica y social del sistema.

Por todo lo anterior, esta investigación parte del supuesto de que, comprender la relación entre calidad del agua, sociedad y sustentabilidad exige superar visiones fragmentadas y adoptar marcos conceptuales integradores. En lugar de analizar el agua como un elemento aislado del contexto social, se propone entenderla como un componente central de sistemas socioambientales complejos, donde los procesos naturales y las decisiones humanas se entrelazan de manera inseparable. Esta perspectiva resulta fundamental para interpretar las variaciones en la calidad del agua no solo como cambios ambientales, sino como evidencias de las dinámicas sociales y territoriales que configuran la sustentabilidad de un territorio determinado.

Sobre esta base conceptual, el capítulo desarrolla los principales enfoques teóricos que permiten interpretar la relación entre agua, sociedad y sustentabilidad en territorios específicos. Se profundiza particularmente en el Ciclo hidrosocial, el concepto de territorio hidrosocial y la sustentabilidad socioambiental como marcos analíticos para comprender las transformaciones de la calidad del agua.

2. El ciclo hidrosocial: agua como proceso socio-natural

Como una forma de interacción entre agua y sociedad, el concepto de *ciclo hidrosocial* surge como una crítica directa a las concepciones tradicionales del agua basadas exclusivamente en el ciclo hidrológico. Durante décadas, el ciclo hidrológico ha sido representado como un proceso natural cerrado, gobernado por leyes físicas universales, en el que el agua circula entre la atmósfera, la superficie terrestre y el subsuelo mediante fenómenos como la evaporación, la precipitación, la escorrentía y la infiltración. Si bien este enfoque ha sido fundamental para el desarrollo de la hidrología y las ciencias del agua, su carácter abstracto y descontextualizado ha limitado la comprensión de los problemas hídricos contemporáneos, al excluir de manera sistemática las dimensiones sociales, políticas y económicas que influyen en la producción, distribución y calidad del agua (Swyngedouw 1999; Linton 2010).

No obstante, desde la década de 1990 y especialmente en los 2000, comenzó a cuestionarse la visión puramente técnica de la calidad del agua, dando paso a interpretaciones más amplias que incorporan dimensiones *sociales, culturales y territoriales*. Jamie Linton (2010) cuestiona esta visión al señalar que el agua, tal como es entendida en la modernidad, constituye una abstracción histórica y socialmente construida. En su análisis, el autor argumenta que la conceptualización moderna del agua como una sustancia homogénea, cuantificable y separable de su contexto social ha permitido su gestión técnica y su incorporación a los sistemas económicos, pero al mismo tiempo ha invisibilizado las relaciones de poder, las decisiones políticas y las prácticas sociales que condicionan su circulación y transformación. “Modern water is an abstraction that separates water from its social and ecological contexts, reducing it to a uniform, measurable and controllable substance” (Linton 2010, 14).

Desde esta perspectiva, el agua no puede ser comprendida únicamente como un objeto natural, sino como el resultado de procesos históricos y sociales que definen qué agua es valorada, cómo se usa y quién tiene acceso a ella. Esta visión vincula al agua que nos rodea dentro de un entorno que debe ser visibilizado en conjunto y que circula dentro de un ciclo que interactúa con todo el sistema que lo rodea.

A partir de esta crítica, Linton y Budds (2014) proponen el enfoque del *ciclo hidrosocial* como una herramienta analítica que permite superar la separación entre naturaleza y sociedad. El ciclo hidrosocial concibe el agua como un proceso socio-natural, en el que los flujos físicos del agua están intrínsecamente entrelazados con relaciones sociales, económicas, culturales y políticas. “Water is never just ‘natural’; it is always produced through a particular set of social, technological, and political relations” (Linton 2010, 26).

En lugar de representar el movimiento del agua como un ciclo puramente natural, este enfoque destaca que cada etapa de dicho ciclo, desde su captación, pasando por su distribución y uso, y finalmente en su tratamiento de aguas residuales y disposición, está mediada por infraestructuras, instituciones, normas, conocimientos y prácticas sociales tal como se analiza en las interacciones que fluctúan dentro del metabolismo social. La Figura 2 sintetiza la incorporación de las dinámicas sociales al ciclo del agua, evidenciando cómo los procesos de captación, consumo, transformación y descarga forman parte de un sistema integrado donde la naturaleza. Desde esta perspectiva, el agua deja de entenderse únicamente como un flujo biofísico y pasa a ser analizada como un proceso socio-natural.

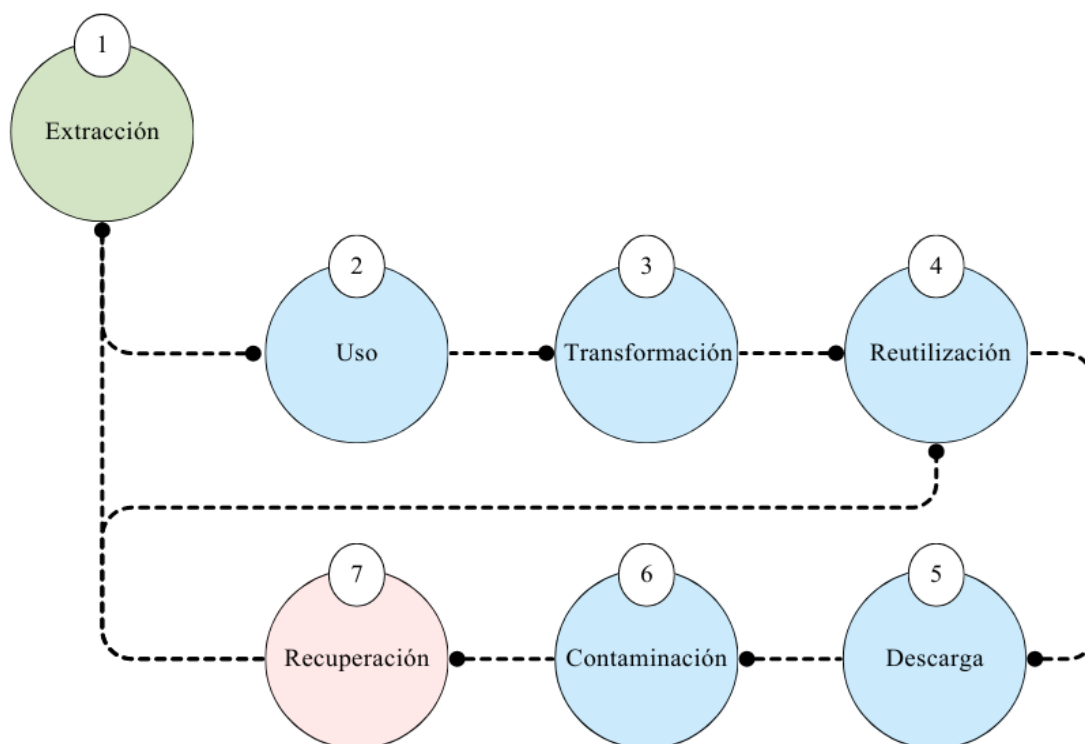


Figura 2. Ciclo del agua como un recurso dentro del metabolismo social, que lo vuelve ciclo hidrosocial

Fuente: Adaptada de Silva Rodríguez de San Miguel (2019)

Elaboración propia

Desde esta óptica, el ciclo hidrosocial no sustituye al ciclo hidrológico, sino que lo recontextualiza. Los procesos biofísicos continúan siendo fundamentales para entender el comportamiento del agua, pero se reconoce que estos procesos son constantemente modificados, acelerados o interrumpidos por la acción humana (Linton y Budds 2014). La construcción de infraestructuras hidráulicas, la expansión urbana, la agricultura intensiva y las políticas públicas de gestión del agua alteran los flujos naturales, redefiniendo tanto la disponibilidad como la calidad del recurso. Así, el agua que circula en una cuenca no es únicamente el resultado de la precipitación y la escorrentía, sino también de decisiones sociales que configuran su trayectoria y sus características.

El enfoque del ciclo hidrosocial ha sido ampliamente utilizado para analizar situaciones de escasez, acceso, desigual y conflictos por el agua en diversos contextos geográficos. Estudios empíricos han demostrado que la distribución del agua responde menos a su disponibilidad física que a los arreglos institucionales y a las relaciones de poder que regulan su asignación (Budds 2012; Swyngedouw 1999). En este sentido, la escasez hídrica no es entendida únicamente como un fenómeno natural, sino como una condición producida socialmente, resultado de modelos de desarrollo, prioridades

económicas y estructuras de gestión que favorecen ciertos usos y actores en detrimento de otros (Budds 2012; Swyngedouw, Kaïka, y Castro 2016).

Uno de los aportes centrales del ciclo hidrosocial es su capacidad para visibilizar el papel de las infraestructuras en la configuración del agua. Sistemas de abastecimiento, redes de saneamiento, plantas de tratamiento y obras de control hidráulico no solo transportan o transforman el agua, sino que materializan decisiones políticas y económicas específicas. Estas infraestructuras determinan qué fuentes de agua son utilizadas, qué poblaciones tienen acceso a agua potable de calidad y qué cuerpos de agua reciben las cargas contaminantes. De este modo, la infraestructura actúa como un elemento mediador clave entre los procesos biofísicos y las dinámicas sociales, influyendo directamente en la calidad del agua que circula en un territorio determinado.

En relación con la calidad del agua, el enfoque del ciclo hidrosocial permite interpretarla como el resultado acumulado de interacciones socioambientales a lo largo del tiempo y del espacio. La presencia de contaminantes, la variación de parámetros físicoquímicos y microbiológicos, y los cambios en la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua reflejan no solo condiciones naturales, sino también patrones de uso del suelo, densidad poblacional, prácticas productivas y niveles de inversión en infraestructura de saneamiento. Desde esta perspectiva, la calidad del agua se convierte en un indicador sensible de las transformaciones sociales y territoriales que afectan a una cuenca.

Asimismo, el ciclo hidrosocial destaca la dimensión histórica y dinámica del agua dentro del ámbito social. Las condiciones actuales de calidad del agua no pueden explicarse únicamente a partir de situaciones presentes, sino que están vinculadas a decisiones pasadas que han configurado el territorio y los sistemas de gestión. La expansión urbana sin planificación, la ausencia de tratamiento de aguas residuales durante largos periodos o la modificación de ecosistemas ribereños generan efectos acumulativos que se manifiestan en el deterioro progresivo del recurso. En este sentido, el análisis del ciclo hidrosocial permite incorporar la temporalidad como un elemento central para comprender las variaciones en la calidad del agua.

El enfoque también pone de relieve la dimensión política del agua, al reconocer que los flujos hídricos están atravesados por relaciones de poder que determinan quién define las prioridades de uso y gestión. Si bien conceptos como gobernanza del agua, justicia hídrica o metabolismo social del agua no constituyen el eje central de este análisis, su presencia implícita resulta fundamental para entender cómo se producen y reproducen

desigualdades en el acceso a agua de calidad. Estas desigualdades se reflejan, por ejemplo, en la localización de infraestructuras de saneamiento, en la aplicación diferenciada de normativas ambientales o en la exposición desigual de ciertos grupos sociales a fuentes de agua contaminadas. “Hydrological cycles do not exist apart from the social worlds in which they are embedded. The cycle itself is conditioned by human actions, technologies and forms of governance” (Linton 2010, 67).

En síntesis, el ciclo hidrosocial constituye un marco conceptual integrador para comprender el agua como un proceso socio-natural históricamente producido, en el que los flujos físicos y las dinámicas sociales se encuentran profundamente entrelazados (Linton y Budds 2014; Budds 2012). Aplicado al análisis de la calidad del agua, este enfoque posibilita interpretar las variaciones observadas no solo como cambios ambientales, sino como expresiones de las interacciones entre sociedad, territorio e infraestructura. De esta manera, el ciclo hidrosocial se constituye en una herramienta fundamental para analizar cómo las presiones antropogénicas influyen sobre la calidad del agua y cómo estas variaciones pueden ser utilizadas para evaluar la sustentabilidad socioambiental de un territorio específico (Vörösmarty et al. 2010; Dingman 2015, 565–608). El análisis de este territorio, desde la visión del agua como un recurso de las sociedades se visibiliza como un territorio hidrosocial, el cual se define en el siguiente apartado.

3. Territorios hidrosociales: de la cuenca física al territorio socioambiental

Como se pudo apreciar en el apartado anterior, el análisis del agua desde una perspectiva socioambiental requiere trascender la noción de hidrológica entendida únicamente como agua circulando dentro de una unidad física entendida como *cuenca hidrográfica* y delimitada por criterios hidrológicos. Si bien la cuenca hidrográfica ha sido ampliamente utilizada como unidad de planificación y gestión de los recursos hídricos, su conceptualización tradicional tiende a privilegiar los procesos biofísicos, dejando en un segundo plano las relaciones sociales, políticas y económicas que configuran el acceso, uso y control del agua. Los trabajos pioneros de Erik Swyngedouw (1999, 2004), desde la ecología política urbana, fueron los primeros en hablar de la “*hidrosocialidad*” del agua (Swyngedouw 1999, 446, 2004) dentro de un territorio, destacando que su circulación está profundamente mediada por relaciones de poder, infraestructura y desigualdades territoriales. Frente a estas limitaciones, el concepto de *territorio hidrosocial* emerge como una herramienta analítica que permite integrar de

manera explícita las dimensiones sociales y espaciales del agua, reconociendo que los flujos hídricos están inseparablemente ligados a relaciones de poder y a procesos históricos de apropiación territorial.

Desde la ecología política del agua, diversos autores han señalado que el territorio no debe ser entendido como un espacio neutro o preexistente, sino como una construcción social y política en constante transformación (Swyngedouw 2004; Kaika 2005, 1–10). En este sentido, el territorio se produce a través de interacciones entre actores, infraestructuras, normas, discursos y prácticas que definen qué usos del agua son legítimos, qué actores tienen prioridad en el acceso al recurso y cómo se distribuyen los costos ambientales asociados a su explotación. Esta perspectiva resulta fundamental para comprender por qué territorios con características hidrológicas similares pueden presentar condiciones muy distintas en términos de disponibilidad y calidad del agua.

El concepto de *territorios hidrosociales* fue desarrollado de manera sistemática por Boelens y colaboradores como una ampliación del enfoque del ciclo hidrosocial, incorporando explícitamente la dimensión espacial del poder (Boelens et al. 2016; Boelens 2015, 9). Desde esta perspectiva, los territorios hidrosociales se definen como configuraciones dinámicas en las que interactúan flujos de agua, infraestructuras hidráulicas, marcos normativos, prácticas culturales y relaciones de poder, produciendo formas específicas de control y distribución del recurso como parte misma de un metabolismo social. Estos territorios no coinciden necesariamente con los límites administrativos o hidrológicos formales, sino que reflejan los arreglos socio-políticos que organizan el agua en un contexto determinado.

Boelens (2015) sostiene que los territorios hidrosociales se construyen mediante procesos de inclusión y exclusión, en los que ciertos actores y usos del agua son privilegiados mientras otros son marginados. Esta construcción territorial se materializa a través de infraestructuras como sistemas de abastecimiento, redes de saneamiento, canales de riego y plantas de tratamiento, las cuales no solo modifican los flujos físicos del agua, sino que también consolidan relaciones de poder y jerarquías sociales. De este modo, el territorio hidrosocial se convierte en un espacio donde se expresan conflictos, negociaciones y disputas en torno al agua, incluso en contextos donde la disponibilidad hídrica aparenta ser elevada. “Water flows, use systems, and hydrological cycles, from micro to macro scales, are mediated by power relations and human intervention. They shape hydro-social territories. In practice, different parties envision or construct such territories differently, with diverging functions, values and meanings” (Boelens 2015, 30).

Investigaciones recientes han ampliado este enfoque, destacando su utilidad para analizar la complejidad de los sistemas hídricos en distintos contextos geográficos de un territorio. Reyes Escate, Hoogesteger y Boelens (2022), por ejemplo, incorporan el concepto de ensamblajes hídricos para enfatizar que los territorios hidrosociales se configuran a través de la articulación de elementos y materiales simbólicos, tales como infraestructuras, discursos técnicos, prácticas culturales y significados sociales del agua (Reyes Escate, Hoogesteger, y Boelens 2022, 62–63). Si bien el enfoque de ensamblajes tiene raíces en la teoría social contemporánea (Deleuze y Guattari 1989; DeLanda 2019), en el contexto de esta investigación se lo considera como un soporte conceptual que refuerza la idea de que el territorio hidrosocial es una configuración relacional, dinámica y no lineal.

En esta misma línea, Alba y colaboradores (2025) destacan que el concepto de territorio hidrosocial ha evolucionado hacia un marco analítico integrador, capaz de conectar escalas locales y globales, así como dimensiones biofísicas, sociales y políticas del agua. Su revisión muestra que los territorios hidrosociales permiten analizar cómo los procesos globales, como la urbanización, la mercantilización del agua o las políticas de desarrollo, se materializan en territorios específicos, generando impactos diferenciados sobre la calidad del agua y el acceso a los servicios hídricos (Alba et al. 2025). Este enfoque resulta especialmente pertinente para estudios a escala de microcuenca, donde las interacciones entre población, uso del suelo e infraestructura se manifiestan de manera directa.

Visto desde una perspectiva urbana, autores como Gandy (2004) y Kaika (2005) han demostrado que los territorios hidrosociales están estrechamente vinculados a los procesos de metabolismo social urbano, en los que el agua circula como un flujo esencial para el funcionamiento de las ciudades. Estos autores evidencian que las ciudades producen territorios hidrosociales desiguales, donde la localización de infraestructuras y la calidad del agua disponible varían significativamente entre distintos sectores de la población (Gandy 2004; Kaika 2005; Carrasco 2022). En este punto queda en evidencia que, aunque el metabolismo social del agua no constituye un eje central en esta tesis, su consideración implícita permite comprender las interacciones entre agua-sociedad y cómo los territorios hidrosociales urbanos reflejan patrones más amplios de desarrollo y desigualdad.

Además, estudios de caso en distintos contextos nacionales han mostrado que los territorios hidrosociales no son estáticos, sino que se transforman en función de cambios

políticos, económicos y territoriales (Rogers y Wang 2020). Al analizar la producción de un territorio hidrosocial en China, por ejemplo, evidencian cómo las políticas estatales y las inversiones en infraestructura reconfiguran los flujos de agua y redefinen las prioridades de uso, con implicaciones directas sobre la calidad del recurso. Por otra parte, en Latinoamérica la lucha por la equidad del agua, en territorios con varias presiones y amenazas ambientales, hace que los territorios hidrosociales sean casi en su totalidad parcializados (Boelens 2015). Estos hallazgos refuerzan la idea de que el territorio hidrosocial es el resultado de decisiones humanas que se materializan espacialmente y afectan de manera diferenciada a las poblaciones.

En el contexto latinoamericano, la noción de territorio hidrosocial ha sido ampliamente utilizada para analizar conflictos por el agua, procesos de urbanización y transformaciones territoriales en cuencas y microcuencas (Boelens et al. 2016; Silva Rodríguez de San Miguel 2019). Mediante este enfoque establecido, se vincula composicionalmente la calidad del agua con las condiciones de vida de la población, al reconocer que los territorios hidrosociales expresan tanto las capacidades institucionales como las prácticas sociales que inciden sobre el recurso (Silva Rodríguez de San Miguel 2019) interpretándose como un indicador del estado socioambiental del territorio, más que como una variable aislada.

Por otro lado, la microcuenca emerge, en este marco, como una escala de análisis particularmente adecuada para estudiar las interacciones entre agua, territorio y sociedad. A diferencia de escalas más amplias, la microcuenca permite observar con mayor detalle las interacciones entre población, uso del suelo, infraestructura y cuerpos de agua, así como los efectos de las presiones antropogénicas sobre el sistema hídrico. Desde el enfoque hidrosocial, la microcuenca no se concibe únicamente como un espacio físico de drenaje, sino como un territorio hidrosocial vivido, gestionado y transformado por las relaciones sociales que se desarrollan en torno al agua.

Finalmente queda claro que, el concepto de territorio hidrosocial proporciona el anclaje espacial necesario para comprender cómo los procesos descritos por el ciclo hidrosocial se materializan en contextos específicos. Al integrar flujos de agua, infraestructuras, normas, prácticas sociales y relaciones de poder, este enfoque permite interpretar las variaciones en la calidad del agua como expresiones territoriales de dinámicas socioambientales más amplias. En síntesis, el concepto del territorio hidrosocial proporciona un marco espacial integrador para comprender cómo las

dinámicas sociales, ecológicas y políticas se articulan alrededor del agua en territorios. (Figura 3).

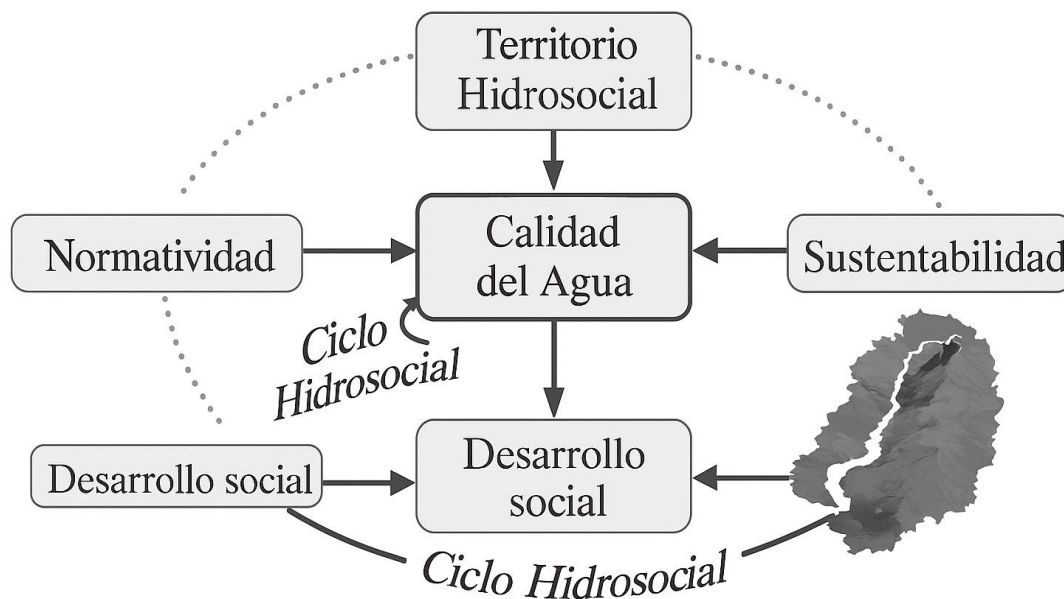


Figura 3. Evaluación del metabolismo social del agua dentro de un territorio a través del ciclo hidrosocial

Elaboración propia

Nota: Dentro del ciclo se muestra su influencia (alteraciones) en la calidad del agua del lugar permitiendo determinar su sustentabilidad

4. Calidad del agua como indicador de sustentabilidad socioambiental

Como se ha expuesto dentro de los conceptos anteriores, la calidad del agua forma parte del análisis integrado de las demandas sociales de un territorio. Este concepto se encuentra implícito dentro de ciclo hidrosocial, ya que el agua que circula dentro de un territorio, iniciando desde su captación, uso y posterior desecho (y reciclaje en algunos casos) (Figura 2), cambia sus características físicas y químicas; siendo así, una variable a evaluar dentro de las características de un territorio hidrosocial. En este sentido, la calidad del agua adquiere una relevancia particular cuando se la aborda como un indicador de sustentabilidad socioambiental, capaz de sintetizar las interacciones entre sociedad, territorio y naturaleza (Figura 3).

La calidad el agua constituye una de las variables más utilizadas para evaluar el estado ambiental de ríos, lagos, acuíferos e incluso para el consumo humano. Sin embargo, su interpretación ha estado históricamente dominada por enfoques técnico-normativos que la conciben como una condición físico-química medible y comparativa frente a estándares predefinidos basados en ensayos científicos de salud ambiental. Si bien estos enfoques han sido fundamentales para el control de la contaminación y la

protección de la salud pública, resultan insuficientes para comprender las múltiples dimensiones sociales, territoriales y políticas que influyen en la degradación o mejora de la calidad del agua (Aboah y Miyittah 2022; Dingman 2015). En este sentido, una evaluación integral de la calidad del agua requiere incorporar simultáneamente dimensiones hidrosociales, territoriales y la físico-química del agua, que permite comprender el agua como parte de sistemas socioambientales complejos.

Desde la perspectiva social y ambiental, la sustentabilidad del agua no se limita a garantizar la disponibilidad del recurso en términos cuantitativos, sino que implica asegurar condiciones de calidad que permitan su uso seguro para el consumo humano, la producción y la conservación de los ecosistemas (Lv, Chen, y Huang 2025; Crespo et al. 2022; Mishra et al. 2021; Li y Wu 2023; Boelens 2015, 11), en un marco de equidad social y territorial (Seigerman et al. 2023). En este sentido, para las sociedades destaca que, el acceso a servicios hídricos seguros y de calidad, modula de manera significativa los niveles de desarrollo humano, evidenciando que las condiciones del agua están estrechamente vinculadas con indicadores de bienestar, salud y capacidades sociales (Amorocho-Daza, Van Der Zaag, y Sušnik 2023). De este modo, la calidad del agua se convierte en un puente analítico entre el estado ambiental de un territorio y las condiciones de vida de su población.

Amorocho-Daza y colaboradores (2023), han subrayado que la degradación de la calidad del agua representa uno de los principales obstáculos para el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, particularmente del ODS 6, que busca garantizar la disponibilidad de agua limpia y saneamiento para todos (UN Water 2024; Bain, Johnston, y Slaymaker 2020). A escala global, millones de personas continúan expuestas a fuentes de agua contaminadas por patógenos, nutrientes y compuestos químicos, lo que se traduce en riesgos persistentes para la salud pública y en la reproducción de desigualdades estructurales (Aboah y Miyittah 2022; Unicef y WHO 2023). Estos estudios coinciden en señalar que los problemas de calidad del agua no responden únicamente a limitaciones técnicas, sino a fallas en los sistemas de gestión, planificación territorial e inversión en infraestructura. “Access to water-related services strongly influences human development, surpassing in many cases economic variables that traditionally have been seen as the main drivers” (Amorocho-Daza, Van Der Zaag, y Sušnik 2023, 6).

En este marco, la calidad del agua puede ser entendida como una expresión condensada de las presiones antropogénicas que actúan sobre un territorio hidrosocial. El vertido de aguas residuales sin tratamiento, el crecimiento urbano acelerado, el cambio

de uso de suelo y la intensificación de actividades productivas generan cargas contaminantes que se acumulan en los cuerpos de agua, afectando su capacidad de provisión de servicios ecosistémicos (Vörösmarty et al. 2010). Desde el enfoque del ciclo hidrosocial, estas alteraciones no son eventos aislados, sino el resultado de procesos sociales que configuran la forma en que el agua es captada, utilizada, descartada y reincorporada al ambiente (Linton y Budds 2014; Budds 2012).

La noción de *sustentabilidad socioambiental del agua*, desarrollada por Silva Rodríguez de San Miguel (2019), resulta particularmente pertinente para integrar estas dimensiones. Este enfoque propone evaluar el agua no solo en función de su estado físico-químico, sino considerando las condiciones sociales, institucionales y territoriales que permiten o limitan su gestión sostenible como se ha detallado en varios estudios subsecuentes (Kireitseva et al. 2025; Bilalova et al. 2023; Li y Wu 2023). Desde esta perspectiva, la calidad del agua refleja tanto la efectividad de las políticas públicas y los marcos normativos como las prácticas sociales cotidianas que inciden sobre el recurso. Así, un cuerpo de agua con niveles adecuados de calidad no solo indica un buen estado ambiental, sino también la existencia de arreglos sociales e institucionales que favorecen la sustentabilidad.

Diversos estudios han demostrado que los indicadores físicoquímicos y microbiológicos del agua están estrechamente relacionados con variables sociales como la densidad poblacional, el acceso a saneamiento y el nivel de desarrollo de la infraestructura hídrica. Gómez, Perdiguero y Sanz (2019) señalan que, en contextos rurales y periurbanos de países de ingresos bajos y medios, las deficiencias en el acceso a servicios básicos de agua y saneamiento se traducen en una mayor exposición a fuentes de agua de baja calidad (Gomez, Perdiguero, y Sanz 2019). De manera similar, Malolo y colaboradores (2021) evidencian que las intervenciones comunitarias en agua, saneamiento e higiene pueden generar mejoras significativas no solo en los indicadores de calidad del agua, sino también en los resultados sociales y sanitarios de las comunidades (Malolo et al. 2021).

En este sentido, la calidad del agua funciona como un indicador sintético, capaz de integrar múltiples dimensiones de la sustentabilidad socioambiental. Por un lado, permite evaluar el estado ecológico de los cuerpos de agua y su capacidad de sostener funciones ecosistémicas; y por otro, refleja las condiciones de acceso equitativo al recurso y la eficacia de los sistemas de gestión. Además, también se enfatiza que el uso de indicadores de calidad del agua, en el marco de los ODS, debe ir acompañado de un

análisis contextual que considere las desigualdades territoriales y las limitaciones estructurales de cada país o región (Bain, Johnston, y Slaymaker 2020; Boelens 2015).

A escala territorial, la interpretación de la calidad del agua adquiere mayor profundidad cuando se la vincula con el concepto de territorio hidrosocial. Los territorios hidrosociales expresan configuraciones específicas de relaciones entre agua, sociedad e infraestructura, en las que la calidad del recurso varía de acuerdo con los usos del suelo, las prioridades de desarrollo y las relaciones de poder que caracterizan a cada territorio (Boelens et al. 2016; Reyes Escate, Hoogesteger, y Boelens 2022). Desde esta óptica, las variaciones espaciales y temporales en la calidad del agua no son anomalías técnicas, sino manifestaciones territoriales de procesos socioambientales más amplios (Allan 2004; Vörösmarty et al. 2010; Dingman 2015).

El análisis de la calidad del agua en clave de sustentabilidad socioambiental permite cuestionar los límites de los enfoques normativos tradicionales del ciclo hidrosocial (Figura 3). Aunque las normas fijan referencias de protección esenciales, su cumplimiento no asegura la sustentabilidad territorial. En muchos casos, cuerpos de agua que cumplen parcialmente con los estándares normativos continúan estando sujetos a presiones crecientes derivadas del aumento poblacional y del cambio de uso de suelo, lo que compromete su calidad a mediano y largo plazo (Ecuador MAE 2015, art. 1; Ecuador INEC 2019; Dingman 2015). Por ello, resulta necesario complementar el análisis normativo con enfoques integradores que anticipen tendencias y evalúen la resiliencia de los sistemas hídricos.

En regiones donde el agua ha sido históricamente percibida como abundante, como en la Amazonía, la calidad del agua se convierte en un indicador particularmente sensible de las transformaciones territoriales recientes. El incremento de actividades urbanas, la expansión de la frontera agrícola y la insuficiencia de sistemas de saneamiento generan impactos acumulativos que se reflejan en la degradación progresiva de los cuerpos de agua, aun en contextos de alta disponibilidad hídrica (Scanlon et al. 2023; Márquez 2023; Mena et al. 2011). Estos procesos evidencian que la abundancia cuantitativa no garantiza la sustentabilidad del recurso si no se acompañan de condiciones adecuadas de gestión y planificación.

Desde una perspectiva temporal, la calidad del agua permite captar los efectos acumulados de decisiones pasadas y presentes sobre el territorio (Allan 2004; Dingman 2015). Las variaciones observadas en los parámetros de calidad del agua reflejan trayectorias de desarrollo específicas, marcadas por modelos de ocupación del suelo,

patrones de crecimiento poblacional y niveles de inversión en infraestructura. En este sentido, la calidad del agua no solo informa sobre el estado actual de un sistema hídrico, sino que ofrece claves para evaluar su sustentabilidad futura y la capacidad del territorio para sostener el bienestar de su población.

Abordar la calidad del agua como un indicador de sustentabilidad socioambiental implica reconocer su carácter multidimensional y su estrecha relación con los procesos sociales y territoriales que configuran el ciclo hidrosocial. Más allá de su medición técnica, la calidad del agua permite interpretar las presiones antropogénicas que actúan sobre un territorio y evaluar las condiciones en las que se produce, gestiona y utiliza el recurso (Meybeck 1989; Allan 2004; Vörösmarty et al. 2010). En conjunto, abordar la calidad del agua como indicador de sustentabilidad socioambiental permite interpretar los cambios en el recurso hídrico como expresiones de dinámicas ecológicas, sociales y territoriales interdependientes.

5. Expresiones territoriales del agua: una clave para evaluar la sustentabilidad

En este capítulo ha quedado establecido que, la comprensión del agua como un fenómeno exclusivamente biofísico resulta insuficiente para explicar las múltiples tensiones, desigualdades y disputas que emergen en torno a su acceso, uso y conservación. Tal como se ha desarrollado en las secciones anteriores, el agua debe entenderse como un elemento relacional, producido y reproducido a través de interacciones históricas, sociales, políticas, culturales y ecológicas que se materializan en territorios concretos. En este sentido, las expresiones territoriales del agua, vista como un recurso, constituyen una entrada analítica clave para abordar la sustentabilidad desde una perspectiva integral, situada y crítica.

Esta perspectiva no ocurre en el vacío, sino que se anclan territorialmente, dando lugar a configuraciones específicas, como lo son los territorios hidrosociales; donde ciertos usos, actores y significados del agua son legitimados, mientras otros son subordinados o excluidos (Boelens et al. 2016; Swyngedouw 1999, 2004). Así, las condiciones del agua en un territorio determinado, reflejan también decisiones políticas, modelos de desarrollo y formas de organización social históricamente construidas.

En este marco, la sustentabilidad debe entenderse como un proceso socioambiental complejo que debe observar hasta qué punto un territorio logra (o no logra) sostener relaciones equilibradas entre la conservación de sus ecosistemas y las necesidades materiales y simbólicas de las poblaciones que dependen de ellos.

Diversos estudios han mostrado que, el acceso a servicios hídricos seguros y adecuados tiene una incidencia directa en el bienestar, la salud y el desarrollo humano, especialmente en contextos rurales y periurbanos de países en desarrollo (Amorocho-Daza, Van Der Zaag, y Sušnik 2023; Gomez, Perdiguero, y Sanz 2019; Aboah y Miyittah 2022; Kireitseva et al. 2025; Boelens 2015). Sin embargo, estas condiciones no se distribuyen de manera homogénea en el espacio, sino que responden a desigualdades territoriales estructurales que se expresan en la calidad del agua disponible, en la infraestructura existente y en la capacidad de gestión local (Bain, Johnston, y Slaymaker 2020; UN Water 2024; Kireitseva et al. 2025). En este sentido, analizar el agua desde sus expresiones territoriales permite visibilizar las brechas socioambientales que atraviesan los territorios y que condicionan las posibilidades reales de avanzar hacia formas de vida sustentables.

Asimismo, la literatura sobre metabolismo socio-ecológico y metabolismo urbano ha destacado que los flujos de agua son componentes centrales en la reproducción material de las sociedades, conectando espacios rurales y urbanos, ecosistemas, infraestructuras y dinámicas económicas (Gandy 2004; Kaika 2005; Kiara y Condori Leguia 2025; Gomez, Perdiguero, y Sanz 2019). Estas dinámicas se expresan territorialmente mediante transformaciones en el uso del suelo, presiones sobre las fuentes hídricas y cambios en la relación sociedad–naturaleza, particularmente en regiones ecológicamente sensibles como la Amazonía (Scanlon et al. 2023; Huang et al. 2018). Desde esta perspectiva, el agua se configura como un eje articulador de procesos ecológicos y sociales que inciden directamente en la sustentabilidad territorial.

Las expresiones territoriales del agua también incorporan dimensiones culturales y simbólicas que influyen en la manera en que las comunidades perciben, valoran y gestionan el recurso. Como señalan Linton (2010) y Reyes Escate, Hoogesteger y Boelens (2022), el agua trasciende su función utilitaria y se convierte en un componente identitario que estructura prácticas cotidianas, formas de organización colectiva y sentidos de pertenencia territorial. Estas dimensiones permiten comprender tanto los procesos de apropiación y defensa del agua como las resistencias locales frente a modelos de gestión que priorizan lógicas externas al territorio.

En conjunto, abordar el agua desde sus expresiones territoriales implica reconocer que las condiciones hídricas observables en un territorio determinado son el resultado de ensamblajes complejos entre naturaleza, sociedad y poder (DeLanda 2019; Deleuze y Guattari 1989; Silva Rodríguez de San Miguel 2019). Esta perspectiva permite superar

enfoques fragmentados y avanzar hacia análisis integrales que articulen dimensiones biofísicas, sociales y territoriales dentro de un mismo marco interpretativo.

Desde esta perspectiva, el estudio de territorios específicos resulta fundamental para comprender cómo las dinámicas hidrosociales se materializan en contextos locales y cómo las transformaciones territoriales inciden sobre la sustentabilidad del agua. Sobre esta base conceptual, el capítulo siguiente contextualiza la microcuenca del río Tena como caso de estudio. Describiendo sus características territoriales, hidrológicas y socioambientales, así como los elementos empleados para su análisis.

Capítulo segundo

Déficit hídrico en la amazonía: relevancia del agua para la vida

El análisis de la calidad del agua como indicador de sustentabilidad socioambiental requiere situar el estudio en el contexto territorial, social y ambiental. En coherencia con el enfoque hidrosocial desarrollado en el capítulo anterior, el análisis de la calidad del agua requiere considerar simultáneamente las dinámicas entre procesos biofísicos y prácticas sociales que se materializan en territorios concretos. En consecuencia, evaluar la sustentabilidad de un territorio hidrosocial implica analizar simultáneamente la calidad del agua, las formas de uso y gestión del suelo, los sistemas de gestión y saneamiento del agua, y la dinámica poblacional que condicionan dichos procesos.

Bajo este enfoque, el presente capítulo cumple una doble función. Por un lado, caracteriza el contexto amazónico ecuatoriano y, en particular, la microcuenca del río Tena como territorio hidrosocial de caso de estudio para el desarrollo de esta tesis de investigación. Por otro, define el marco metodológico que permite operacionalizar los conceptos desarrollados en el Capítulo 1 y establecer cómo se analizarán las variables relacionadas con la calidad y cantidad de agua, el cambio de uso de suelo y la población en el período 2018–2025.

La principal área de análisis corresponde a la microcuenca del Río Tena, delimitada hidrológicamente desde sus nacientes hasta su confluencia con el Río Pano en el sector del puente atirantado del Parque La Isla. Esta delimitación responde a criterios físicos e hidrológicos y no coincide completamente con los límites político-administrativos del cantón ni de las parroquias involucradas. Aunque parte del área urbana de Tena y sectores de las parroquias Tena y Muyuna forman parte de la microcuenca, el estudio se centra exclusivamente en el territorio hidrosocial definido por la unidad hidrográfica del río Tena.

Para estos propósitos, el capítulo se estructura en cuatro apartados principales: primero, se presenta una caracterización territorial amazónica orientada a comprender el déficit hídrico desde una perspectiva socioambiental; segundo, se analiza la cuenca del río Napo como sistema hidrosocial estratégico en el contexto regional; tercero, se delimita la microcuenca del río Tena como unidad de estudio, destacando sus particularidades

ecológicas y sociales; y finalmente, se desarrolla la base hidrológica que sustenta la construcción de un *Índice de Sustentabilidad Hidrosocial* (ISH), articulando los componentes biofísicos y sociales del análisis.

De esta manera, el capítulo responde principalmente a los objetivos específicos 1 y 2 de la investigación, sentando las bases conceptuales y metodológicas para el análisis de sustentabilidad desarrollado en el capítulo siguiente.

1. El agua como eje de las dinámicas socioambientales: Demanda hídrica de la Amazonía para la evaluación de sustentabilidad

El agua constituye uno de los elementos esenciales para el funcionamiento de los sistemas socio-ecológicos y la organización territorial. Aunque la región amazónica del Ecuador se caracteriza por una enorme disponibilidad hídrica, con precipitaciones que superan los 3000 mm anuales en varios sectores (Ilbay-Yupa et al. 2021) (Figura 4), esta abundancia natural no se traduce automáticamente en acceso seguro a agua de calidad. Lo mencionado tampoco garantiza la sostenibilidad ecológica ni social de los asentamientos humanos (Da Mata et al. 2025; Mena et al. 2011; Ecuador MAE 2016), lo cual se traduce en que la abundancia hídrica no garantiza por sí sola la sustentabilidad ecológica y social de un territorio. Estudios globales sobre agua y salud han demostrado que la disponibilidad física del recurso no asegura su accesibilidad, potabilidad ni manejo sostenible, pues intervienen factores institucionales, económicos y tecnológicos que determinan las desigualdades en el acceso (Bain, Johnston, y Slaymaker 2020; Gomez, Perdiguero, y Sanz 2019; Aboah y Miyittah 2022).

Esta paradoja amazónica de abundancia ecológica y escasez social coincide con lo que los estudios hidrosociales describen como la construcción territorial del agua, donde decisiones políticas, prácticas cotidianas, infraestructuras y relaciones de poder influyen en su distribución y calidad (Linton 2010; Linton y Budds 2014; Boelens et al. 2016; Reyes Escate, Hoogesteger, y Boelens 2022). Estas dinámicas generan presiones sobre los sistemas hídricos, no solo en términos de cantidad de agua extraída como *recurso hídrico*, sino también por los impactos indirectos sobre la calidad del recurso, derivados de cambios en el uso del suelo y de la generación de aguas residuales (Vörösmarty et al. 2010; Dingman 2015). En este sentido, comprender el territorio hidrosocial amazónico exige un análisis que integre aspectos biofísicos y sociopolíticos, permitiendo visualizar cómo el metabolismo social del agua condiciona tanto las oportunidades como las vulnerabilidades hídricas de la región. Tales dinámicas pueden

traducirse en situaciones de déficit hídrico cualitativo, entendidas como la pérdida paulatina de condiciones adecuadas de calidad y disponibilidad, lo cual incide directamente en las posibilidades de sustentabilidad territorial (Silva Rodríguez de San Miguel 2019; Amorocho-Daza, Van Der Zaag, y Sušnik 2023).

Diversos estudios han señalado que, pese a su riqueza hídrica, las ciudades y comunidades amazónicas enfrentan déficit hídrico social, producto de la contaminación acumulada, la limitada infraestructura de saneamiento, el crecimiento urbano desordenado, la variabilidad hidroclimática, la expansión de actividades extractivas y la presión turística (Fontaine 2003; Finer et al. 2008; Hofstede et al. 2014; Del Pozo Vallejo 2010; Albert et al. 2023). Esta realidad ha sido ampliamente documentada también en territorios indígenas amazónicos, donde la calidad del agua se ve afectada por descargas urbanas, agroquímicos, metales pesados y residuos petroleros. Estas afectaciones han generado riesgos para la salud pública y la seguridad hídrica en la Amazonía ecuatoriana (Sam y Armstrong 2022; Márquez 2023; IWG 2013; Salinas et al. 2024; San Sebastián y Hurtig 2005). Desde la perspectiva del ciclo hidrosocial, las afectaciones reflejan la forma en que los flujos naturales de agua son reorganizados por infraestructuras, uso y gestión del suelo y dinámicas sociales.

En este contexto, las dinámicas territoriales asociadas al crecimiento urbano, el cambio de uso del suelo, las actividades productivas y las limitaciones en infraestructura de saneamiento generan presiones crecientes sobre los sistemas hídricos amazónicos. Estas transformaciones afectan no solo la disponibilidad del agua, sino también su calidad y capacidad de sostener funciones ecológicas y sociales en el largo plazo. Comprender estas relaciones resulta fundamental para analizar la sustentabilidad de los territorios hidrosociales amazónicos y las formas en que las presiones antropogénicas se expresan sobre el recurso hídrico.

2. Caracterización territorial amazónica para comprender el déficit hídrico

El análisis del déficit hídrico amazónico requiere una visión general de la demanda hídrica en articulación del entorno biofísico con los procesos sociales y territoriales que se desarrollan en él. La Amazonía ecuatoriana no puede interpretarse únicamente desde sus condiciones naturales como se ha establecido al inicio de este capítulo. Por el contrario, su configuración hidrosocial se encuentra profundamente asociado a prácticas culturales, estructuras económicas, dispositivos institucionales y configuraciones históricas del territorio, incluido el cambio climático (Larrea 2021;

Svampa 2019; Fontaine 2003). Estas interacciones entre sociedad-agua y los cambios que se presentan en ellos a través de los años es lo que genera el déficit hídrico, con respecto a la demanda tanto social como de la biodiversidad que habita en la Amazonía y que necesita de agua segura, en buen estado para garantizar la satisfacción de las necesidades presentes y futuras (*sustentabilidad*). En coherencia con los aportes teóricos del Capítulo 1, este apartado presenta una lectura que entrelaza los procesos hidrológicos con su dimensión social, entendiendo al agua como un fenómeno socio-ecológico y políticamente producido (Linton y Budds 2014; Rogers y Wang 2020; Boelens 2015).

En este contexto, el déficit hídrico amazónico no puede entenderse únicamente como una disminución física del recurso, sino como una expresión territorial de las transformaciones socioambientales que afectan simultáneamente la calidad, disponibilidad y gestión del agua. La expansión urbana, los cambios de uso del suelo, las actividades extractivas y las limitaciones institucionales modifican progresivamente las dinámicas hidrológicas y las condiciones ecológicas de los sistemas fluviales amazónicos. Estas presiones adquieren particular relevancia en cuencas y microcuencas donde las relaciones entre población, infraestructura y agua se manifiestan de manera más directa y visible. A continuación, se detalla el contexto territorial desde la escala regional, hasta el área de estudio:

2.1. Contexto biofísico general de la Amazonía Ecuatoriana

La Amazonía ecuatoriana, que representa aproximadamente el 48 % del territorio ecuatoriano, forma parte de una de las regiones hidro climáticas más importantes del planeta. El clima es cálido-húmedo, con temperaturas que oscilan entre 20 y 25 °C y precipitaciones que superan los 2500–3500 mm anuales (Figura 4) (Ecuador MAE 2016; Ilbay-Yupa et al. 2021; Marengo et al. 2024). Estas condiciones generan una alta disponibilidad hídrica superficial y subterránea, así como también, una densa red de drenaje y una marcada dinámica fluvial influenciada por los gradientes andino-amazónicos (Ilbay-Yupa et al. 2021; Guyot et al. 2012; Mena et al. 2011; Eugênio et al. 2025). A nivel ecológico, el bosque húmedo tropical cumple un rol fundamental en los procesos de reciclaje de humedad y en el mantenimiento de los llamados “ríos voladores”, que alimentan la humedad en gran parte del subcontinente (Arraut et al. 2012; Marengo et al. 2024).

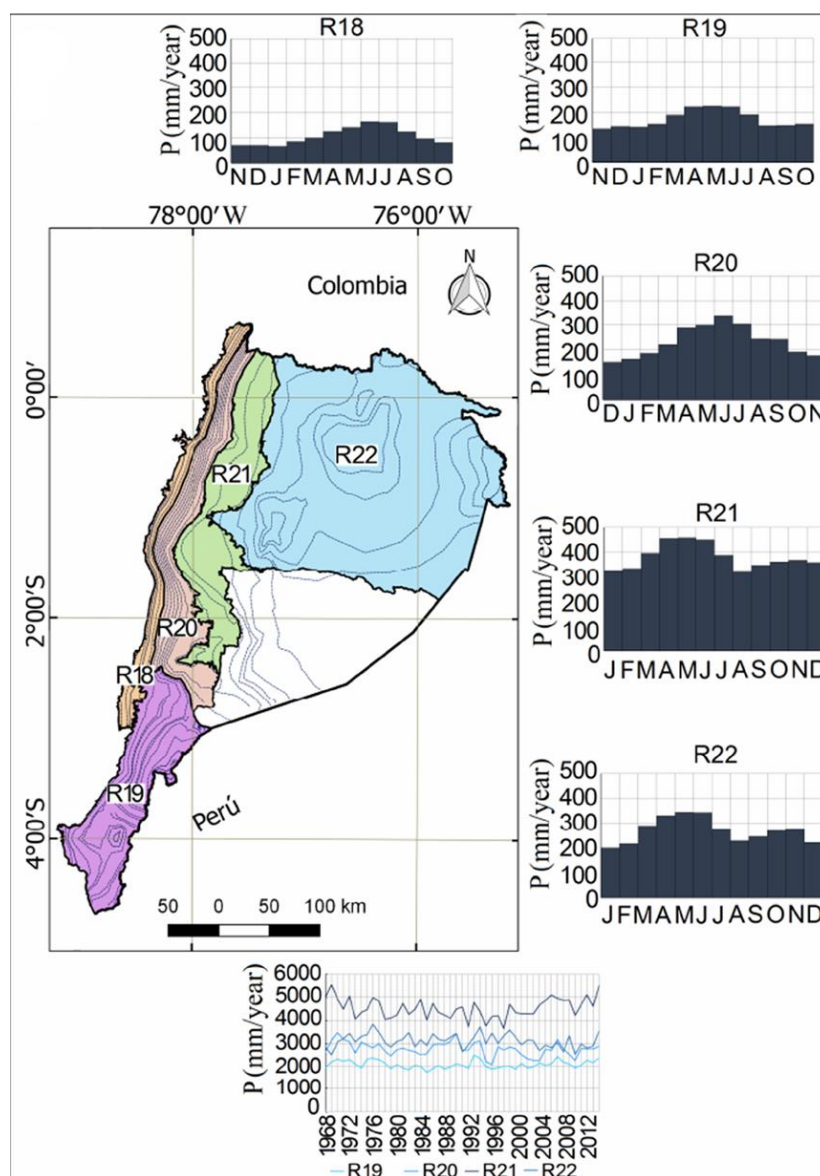


Figura 4. Regímenes de precipitación de la amazonía ecuatoriana
Fuente: Ilbay-Yupa et al. (2021, 12)

Sin embargo, la abundancia natural del agua contrasta con la vulnerabilidad ecológica del territorio. Debido a la alta pluviosidad, combinada con pendientes pronunciadas, suelos poco consolidados y procesos de deforestación, extracción de materiales pétreos, expansión petrolera y otras actividades extractivas (RAISG 2022, 69; Mena et al. 2011; Guyot et al. 2012), se incrementa la erosión y la turbidez en los cuerpos de agua (Guyot et al. 2012; Ecuador CTEA 2022; Mena et al. 2011). A esto se suman las presiones derivadas de la expansión urbana de ciudades amazónicas donde las redes de alcantarillado son incompletas, las plantas de tratamiento insuficientes y persiste la descarga directa de aguas residuales a los ríos (Mena et al. 2011; SENAGUA 2016; Ecuador GAD Tena 2025; San Sebastián y Hurtig 2005). Estas dinámicas se encuentran

estrechamente vinculadas con la noción de ciclo hidrosocial, en la cual la infraestructura, la gobernanza y las desigualdades territoriales influyen en la forma en que el agua circula y se contamina (Linton 2010; Alba et al. 2025; Carrasco 2022).

2.2. Cuenca del río Napo: un sistema hidrosocial estratégico

La cuenca del río Napo constituye una de las más extensas e importantes del Ecuador, integrando sistemas ecológicos, culturales y económicos que conectan los Andes con la llanura amazónica (Ecuador MAE 2016; Marengo et al. 2024; Rojas López 2005). El río Napo se caracteriza por su alta variabilidad hidrológica, marcada por lluvias intensas y un rápido régimen de respuesta fluvial (Espinoza et al. 2010; Ilbay-Yupa et al. 2021). A lo largo de su cauce, el río ha sostenido históricamente actividades de pesca, movilidad, agricultura y abastecimiento de agua para numerosas comunidades indígenas y centros urbanos.

No obstante, la cuenca enfrenta múltiples presiones que reflejan su carácter de territorio hidrosocial. En primer lugar, la actividad petrolera, particularmente en sectores del Napo medio y bajo, ha generado impactos acumulados sobre la calidad del agua, los ecosistemas ribereños y la salud comunitaria (Finer et al. 2008; San Sebastián y Hurtig 2005; Larrea 2021). En segundo lugar, el aumento de la erosión en los últimos años, por las actividades extractivas y de captación de agua, ha modificado cauces, disminuido la estabilidad de las riberas y afectado las infraestructuras esenciales (Guyot et al. 2012; Ecuador CTEA 2022; Espinoza et al. 2010; Capparelli et al. 2020; O. E. Lucas-Solis 2021).

Por otro lado, en algunos de los principales tributarios de la cuenca del Napo también se han reportado afectaciones asociadas a actividades mineras metálicas, particularmente en los ríos Misahualli, Jatunyacu y Anzu, donde los procesos extractivos y la remoción de sedimentos han generado preocupación por el incremento de turbidez y contaminación asociada (Villacrés Bolaños 2026; RAISG 2022; Capparelli et al. 2020). Finalmente, el crecimiento acelerado de las actividades turísticas y recreativas alrededor de ríos como el Jatunyacu o Misahualli han presionado la calidad del agua y los sistemas locales de saneamiento, especialmente en temporadas de alta afluencia turística (Rojas López 2005; Sarmiento León 2025; O. Lucas-Solis et al. 2021).

Estas presiones, combinadas con procesos de urbanización, expansión agrícola y cambios en la cobertura vegetal, configuran una dinámica territorial donde el agua es continuamente producida y disputada socialmente, en concordancia con los enfoques

hidrosociales globales (Rogers y Wang 2020; Reyes Escate, Hoogesteger, y Boelens 2022; Alba et al. 2025). En este escenario, la microcuenca del río Tena que tributa sus aguas en la subcuenca del río Misahualli formando parte de la cuenca del río Napo, se presenta como un laboratorio socio-ecológico clave para analizar cómo estas tensiones se materializan a escala local y cómo influyen en la calidad del agua y en la sostenibilidad del territorio.

3. Microcuenca del río Tena como territorio hidrosocial

La microcuenca del río Tena se encuentra ubicada en la transición andino-amazónica, formando parte de los sistemas hidrográficos de cabecera que alimentan la cuenca del río Napo y, posteriormente, a la gran cuenca Amazónica (Figura 5). Caracterizada por fuertes gradientes altitudinales, alta pluviosidad y una compleja dinámica geomorfológica, este sistema genera propiedades hidrológicas altamente dinámicas, donde los procesos ecológicos se entrelazan con múltiples actividades humanas.

Esta se encuentra delimitada hidrológicamente desde sus nacientes hasta su confluencia con el Río Pano en el sector del puente atirantado del Parque La Isla. Esta delimitación responde a criterios hidrográficos y territoriales, por lo que no coincide completamente con los límites político-administrativos del cantón ni de las parroquias de Tena y Muyuna, aunque su distribución geográfica forma parte de la microcuenca. En consecuencia, el análisis se centra exclusivamente en la microcuenca como territorio hidrosocial. Esto sin dejar de lado que dentro del ciclo hidrosocial, las interacciones sociales de ciudades como Tena pueden influir en las condiciones que se producen en el territorio hidrosocial de estudio.

En la Figura 5 se puede observar que esta área de estudio se encuentra ubicada dentro del cantón de Tena, cabecera cantonal de la provincia de Napo. Está situada desde las áreas de bosque natural en la Reserva Biológica Colonso Chalupas (RBCC), la cual ocupa la mayor parte de esta unidad espacial, y el centro mayormente poblado de la ciudad (Tena urbano), que sólo corresponde a una pequeña parte en la salida de la cuenca, donde confluyen las aguas del río Pano. En este territorio convergen procesos históricos de ocupación, transformaciones económicas, identidades culturales y decisiones de planificación territorial que influyen directamente en el acceso, la gestión y la calidad del agua.

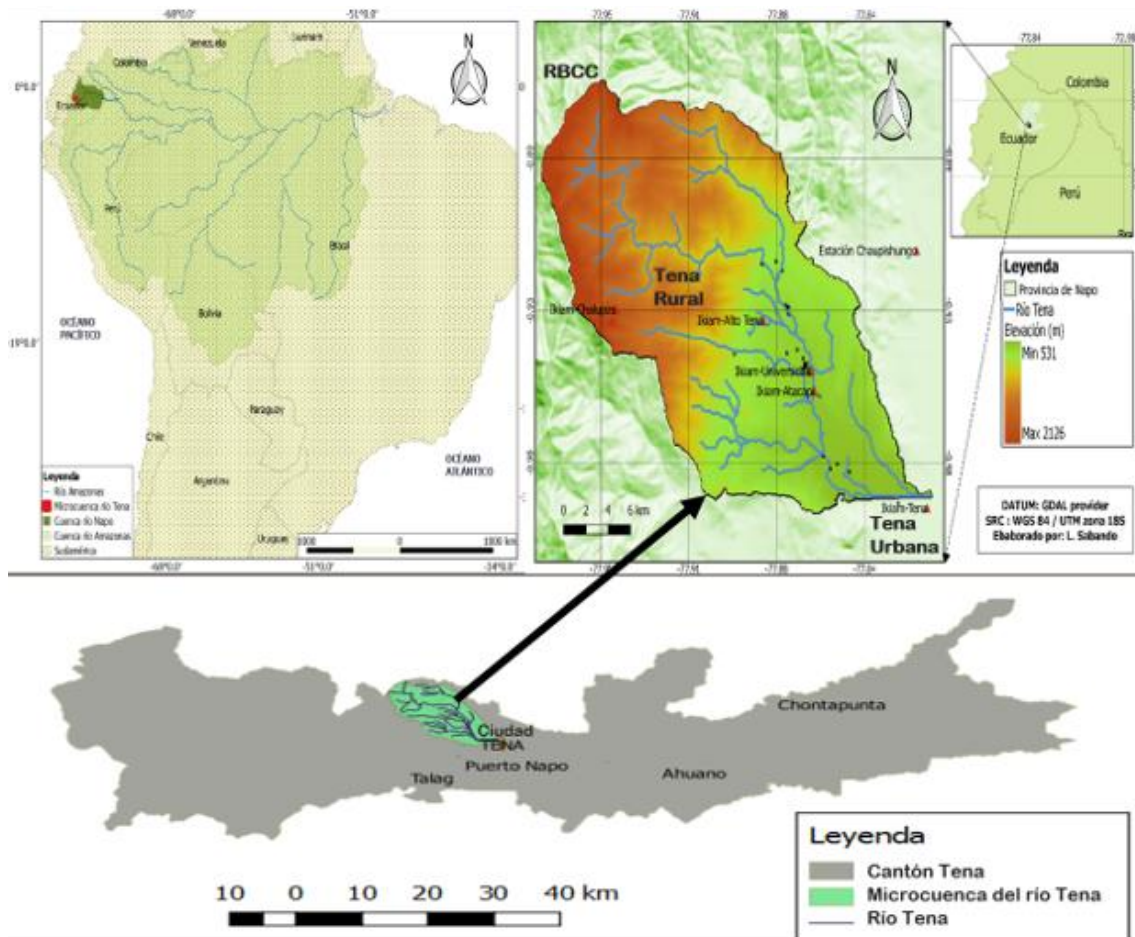


Figura 5. Localización de la microcuenca del río Tena dentro de Sudamérica, como parte de la cuenca del Río Napo (vertiente del río Amazonas)

Fuente: Adaptada de Sabando (2021)

Elaboración propia

Desde una perspectiva sociohistórica, el actual territorio de Tena ha sido habitado ancestralmente por pueblos indígenas amazónicos, principalmente nacionalidades Kichwa amazónicas, quienes desarrollaron sistemas de uso del agua vinculados a prácticas agrícolas tradicionales, pesca, movilidad fluvial y relaciones culturales con los ríos y bosques (Ecuador CTEA 2022). Estos sistemas socio-ecológicos se vieron transformados a partir del proceso de colonización amazónica impulsado por el Estado ecuatoriano desde mediados del siglo XX, cuando la apertura de vías, la expansión agrícola y posteriormente la explotación petrolera generaron importantes cambios demográficos y territoriales en la región (Larrea 2021; Fontaine 2007).

En la microcuenca del río Tena, su demografía y distribución territorial, data desde la colonización, donde los asentamientos poblacionales se situaban generalmente a orillas del río, con el fin de proveerse de recursos (Ecuador GADM Tena 2025). Este acontecimiento refleja la actual distribución de los asentamientos poblacionales, que sigue dependiendo de las dinámicas fluviales del río Tena y se ve afectada por las mismas

(Ecuador ARCSA 2026, párr. 1; Jurado 2017, párr. 2; Humanitarians Worldwide 2011, párr. 4).

Actualmente, el último cambio suscitado en este espacio ha estado relacionado con el crecimiento de las actividades turísticas y la expansión de las actividades extractivas en diversas localidades del cantón Tena (Espinosa et al. 2015; Villacrés Bolaños 2026; Cazar Baquero 2026, párr. 1). Dentro de la microcuenca del río Tena el extractivismo ha sido particular y ventajosamente sólo de extracción de material pétreo en pequeñas áreas alrededor del río asociada al crecimiento urbano e infraestructura local (Holguín et al. 2025). En contraste, las problemáticas vinculadas a minería metálica se presentan con mayor intensidad en cuencas vecinas como se mencionó en la sección anterior, donde diversos estudios han documentado impactos asociados a remoción de sedimentos y contaminación derivada de dichas actividades (Villacrés Bolaños 2026; RAISG 2022; Capparelli et al. 2020), que podrían llegar a influenciar las condiciones de todo el sistema hídrico a nivel regional.

Como resultado de los procesos mencionados, el cantón Tena presenta actualmente una composición poblacional diversa, en la que coexisten comunidades indígenas Kichwa, población mestiza proveniente de procesos migratorios internos y nuevos asentamientos urbanos asociados al crecimiento de la ciudad de Tena; además de la diversidad de turistas nacionales y extranjeros que transitan anualmente por la ciudad. Esta diversidad sociocultural configura múltiples formas de relación con el agua, que van desde usos domésticos y agrícolas hasta actividades recreativas y turísticas vinculadas a los ríos amazónicos (Ecuador GAD Tena 2025; Espinosa et al. 2015). La coexistencia de estos actores y usos del territorio genera configuraciones hidrosociales complejas, donde las demandas sobre el recurso hídrico aumentan y se diversifican.

En las últimas décadas, el crecimiento urbano de la ciudad de Tena ha intensificado estas dinámicas territoriales. La expansión de asentamientos, la construcción de infraestructura turística y el aumento de servicios urbanos han incrementado la demanda de agua potable y han generado mayores volúmenes de aguas residuales, muchas de las cuales aún presentan limitaciones en su tratamiento antes de ser descargadas en los ríos locales (Carrasco 2022; Ecuador GADM Tena 2025). Estas transformaciones urbanas inciden directamente en el ciclo hidrosocial dentro de la microcuenca, al modificar tanto la disponibilidad como la calidad del agua en distintos puntos del sistema fluvial; especialmente tomando en cuenta que la principal planta de captación y tratamiento de agua potable para la ciudad de Tena se encuentra dentro de

esta área de estudio. Dicho esto, más allá de sus características biofísicas, la microcuenca del río Tena debe entenderse como un territorio hidrosocial, es decir, como un espacio donde el agua es producida, distribuida y disputada a través de relaciones sociales, políticas e institucionales (Boelens 2015; Linton y Budds 2014).

En este contexto, las desigualdades en el acceso a agua segura emergen como un componente clave del déficit hídrico social en la microcuenca. Mientras algunos barrios de Tena cuentan con acceso formal a redes de agua potable, otros dependen de sistemas comunitarios o de captaciones informales en quebradas y afluentes, consumiendo agua directamente del río Tena y sus tributarios. Estas diferencias reflejan patrones observados en regiones rurales de bajos ingresos a nivel global, donde factores socioeconómicos, territoriales e institucionales condicionan el acceso efectivo a agua de calidad (Gomez, Perdiguero, y Sanz 2019; Bain, Johnston, y Slaymaker 2020).

Por otro lado, con respecto a las condiciones ambientales del recurso hídrico en la microcuenca del río Tena, aunque la cobertura vegetal aún predomina en varios sectores, la presión asociada al desmonte para actividades extractivas, agrícolas, piscícolas, asentamientos informales y proyectos turísticos, incrementa la escorrentía superficial y la carga de sedimentos, contribuyendo a procesos de turbidez y variaciones en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Mena et al. 2011; Ecuador SENAGUA 2016; Grandez-Piña et al. 2022; Sabando Bravo 2021; Tapuy 2025; Rosero et al. 2020) (Figura 6). A esta contribución se suman la presencia de la planta de tratamiento de agua residual de la universidad Ikiam que descarga sus aguas en uno de los afluentes dentro de la microcuenca (Carrasco 2022; Freire-Chafla 2016; Segarra Lindao 2022).

En consecuencia, la calidad del agua se ve afectada por diversas fuentes de contaminación doméstica, urbana, turística y por actividades agropecuarias y extractivas (Tapuy 2025; Sabando Bravo 2021; Espinosa et al. 2015; Zabala Pozo 2016), lo que erosiona la seguridad hídrica y puede afectar la salud pública, tal como se ha documentado en otras zonas amazónicas expuestas a descargas y contaminantes persistentes (San Sebastián y Hurtig 2005; Capparelli et al. 2020; O. Lucas-Solis et al. 2021; Aboah y Miyittah 2022).

Si bien estas actividades generan ingresos y oportunidades económicas para la población local, también han sido asociadas con procesos de deforestación, erosión de suelos y contaminación de cuerpos de agua (O. Lucas-Solis et al. 2021; Finer et al. 2008). En el caso específico de Tena por ejemplo, el turismo basado en ríos como el Jatunyacu, Misahualli y Tena ha impulsado una economía local vinculada al rafting, el kayak y otras

actividades recreativas, lo cual refuerza la importancia de mantener condiciones adecuadas de calidad del agua para sostener esta actividad (Espinosa et al. 2015). Y, por otra parte, las actividades extractivas y la expansión urbana son causa del deterioro progresivo de los recursos naturales.



Figura 6. Microcuenca del río Tena como territorio hidrosocial

Fuente: Adaptada de Rosero et al. (2020).

Elaboración propia

El territorio ha sido escenario de conflictos socioambientales asociados al uso del suelo, la gestión del agua y la expansión de actividades extractivas. Estudios recientes han documentado tensiones sociales vinculadas a proyectos mineros y a las formas en que estos afectan las percepciones locales sobre el agua, el territorio y la naturaleza (Villacrés Bolaños 2026). Estos conflictos reflejan disputas entre distintos modelos de desarrollo y visiones sobre el territorio, en las cuales el agua emerge como un elemento central tanto para la subsistencia comunitaria como para la economía regional.

Las comunidades que habitan dentro del territorio guardan relaciones con el agua que están profundamente vinculadas a cosmovisiones indígenas y prácticas culturales que han estructurado históricamente el manejo del territorio. Las comunidades Kichwa amazónicas que se encuentran dentro del territorio, mantienen formas de relación con los ríos, quebradas y bosques que trascienden su uso material, integrándolos dentro de sistemas de conocimiento ecológico local y de significación cultural (Cuenca et al. 2019; Ecuador GADM Tena 2025; Ecuador GADP Muyuna 2023, sec. “Turismo-Datos generales”). En estos contextos, el agua no es únicamente un recurso natural, sino un elemento constitutivo del territorio y de la vida comunitaria, asociado a prácticas de pesca, agricultura tradicional, movilidad fluvial y ritualidad (Larrea 2021; Fontaine 2003). Estas formas de interacción socio-ecológica han contribuido históricamente a mantener

equilibrios entre el uso humano del agua y la conservación de los ecosistemas, aunque en las últimas décadas se han visto tensionadas por procesos de urbanización, expansión agrícola y transformaciones económicas en la región amazónica.

En la actualidad, la gestión del agua en la microcuenca del río Tena se desarrolla a través de una compleja red de actores institucionales, comunitarios, parroquiales y municipales que intervienen en distintos niveles de gobernanza. A nivel local, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) y las empresas municipales de agua potable son responsables de la provisión de servicios de abastecimiento y saneamiento para la población urbana, mientras que en áreas rurales las juntas administradoras de agua comunitarias cumplen un rol fundamental en la gestión y distribución del recurso. Estas estructuras de gobernanza interactúan con políticas nacionales de gestión hídrica y planificación territorial, así como con instrumentos locales de ordenamiento como el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) y el Plan de Gestión Ambiental del cantón Tena (Ecuador GAD Tena 2025; Ecuador GADM Tena 2025). Sin embargo, diversos estudios han señalado que las capacidades institucionales para el manejo integral del agua aún presentan limitaciones relacionadas con la infraestructura de saneamiento, el monitoreo de la calidad del agua y la coordinación interinstitucional (Carrasco 2022; Freire-Chafla 2016). Estas condiciones influyen directamente en la manera en que el ciclo hidrosocial se materializa en el territorio, afectando tanto la disponibilidad de agua segura como las posibilidades de alcanzar niveles sostenibles de gestión del recurso.

En este contexto, la microcuenca del río Tena puede interpretarse como un laboratorio socio-ecológico donde convergen múltiples procesos de transformación territorial. La interacción entre crecimiento urbano, actividades económicas, diversidad cultural y cambios en el uso del suelo produce presiones acumulativas sobre el sistema hídrico, que se manifiestan en variaciones en la calidad del agua, alteraciones en los flujos hidrológicos y riesgos crecientes para la seguridad hídrica local (Carrasco 2022; Celi Jorge et al. 2025).

Comprender estas dinámicas resulta fundamental para evaluar la sustentabilidad del territorio. Desde el enfoque hidrosocial adoptado en esta investigación, la calidad del agua no se interpreta únicamente como un indicador biofísico, sino como el resultado de procesos sociales y territoriales que reorganizan continuamente los flujos hídricos. En este sentido, el análisis de la microcuenca del río Tena permite examinar cómo las decisiones de planificación territorial, las dinámicas económicas y las relaciones socioculturales influyen en la configuración del sistema hídrico local.

A partir de esta lectura socio-ecológica del territorio, el análisis de las dinámicas hidrológicas, los cambios en el uso del suelo y las presiones poblacionales permitirá identificar las condiciones bajo las cuales el sistema hídrico local puede sostener las demandas sociales y ecológicas presentes y futuras bajo el concepto establecido de sustentabilidad. Comprender estas dinámicas resulta fundamental para evaluar la sustentabilidad del territorio. Desde el enfoque hidrosocial, la microcuenca del río Tena constituye un territorio donde convergen dinámicas ecológicas, urbanas, económicas y culturales que inciden directamente sobre el sistema hídrico local.

En las siguientes secciones, se exploran las componentes que caracterizan a este territorio hidrosocial y que nos permitirán evaluar la sustentabilidad con los componentes anteriormente mencionados.

4. Hidrología del río Tena

Como se mencionó anteriormente, el río Tena es uno de los principales tributarios del sistema hidrográfico del río Napo, caracterizado por una dinámica marcada por los regímenes de lluvia propios de la zona andino-amazónica. Su comportamiento hidrológico responde a una combinación de factores biofísicos, entre ellos la alta pluviosidad, la geomorfología abrupta, la conectividad entre quebradas y la elevada humedad relativa, característicos de su georreferencia. Además, cuenta con factores antrópicos relacionados con la urbanización, el cambio de uso de suelo y las actividades turísticas y productivas dentro de la microcuenca (Espinoza et al. 2010; Ecuador GAD Tena 2025; Segarra Lindao 2022; Carrasco 2022).

El régimen del río Tena es típicamente pluvial-unimodal, con caudales que experimentan incrementos rápidos durante episodios de lluvias intensas, lo que genera picos de crecida característicos de cuencas pequeñas y medianas ubicadas en regiones húmedas tropicales (Espinoza et al. 2010; Sabando Bravo 2021; Segarra Lindao 2022). La presencia de pendientes pronunciadas favorece el rápido transporte de sedimentos, mientras que los procesos de deforestación y el desmonte para actividades agrícolas o urbanas intensifican la escorrentía superficial, contribuyendo a aumentos temporales de turbidez y variaciones en parámetros como sólidos suspendidos, materia orgánica y nutrientes (Mena et al. 2011; Guyot et al. 2012; Eugênio et al. 2025).

La Figura 7 presenta el comportamiento histórico de precipitación y temperatura de la estación meteorológica M1219 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

(INAMHI), utilizando registros climáticos de más de 30 años para caracterizar las condiciones hidroclimáticas predominantes en la microcuenca del río Tena.

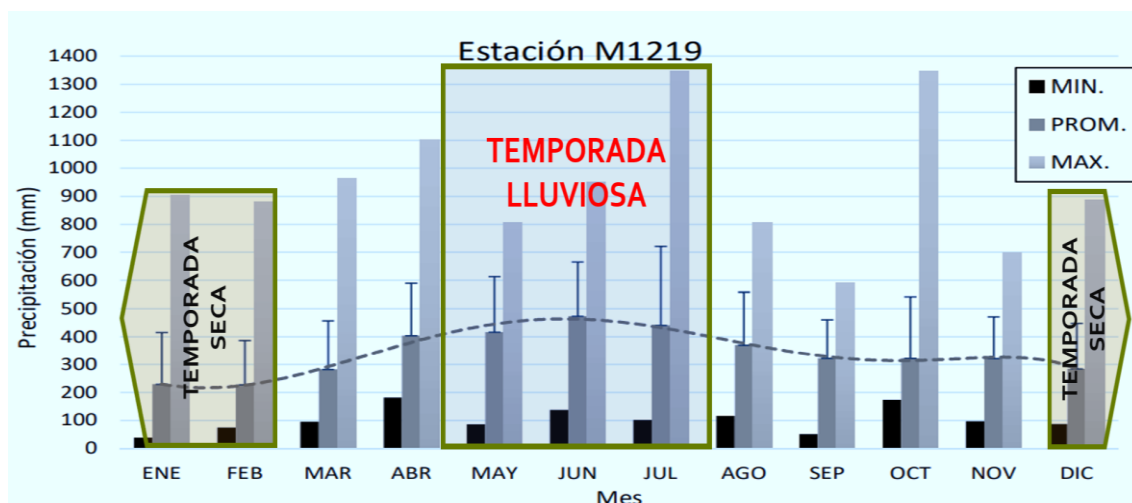


Figura 7. Regímenes de precipitación del territorio de estudio

Fuente: Adaptada de Sabando Bravo (2021)

Elaboración propia

Durante la temporada de precipitaciones altas (mayo, junio y julio), el río presenta caudales elevados y una marcada conectividad entre sus tributarios, lo cual facilita el transporte de sedimentos y materia orgánica desde los estratos superiores de la microcuenca (Sabando Bravo 2021).

Por otro lado, en la temporada con menor presencia de precipitaciones (diciembre, enero y febrero), la disminución de precipitaciones se traduce en la disminución de caudales. Esto puede evidenciar presiones locales sobre la calidad del agua, debido a la concentración de contaminantes urbanos y domésticos que no se diluyen con la misma eficacia, pues los mismos no son transportados como en la época más lluviosa (Grandez-Piña et al. 2022; Espinoza et al. 2010; Guyot et al. 2012; Galárraga Sánchez 2004; SENAGUA 2016; Sabando Bravo 2021). Esta información hace relevante la investigación de los cambios en la calidad del agua de las diferentes estacionalidades o regímenes de precipitación que se presentan en el territorio.

La disponibilidad hídrica de la microcuenca sostiene múltiples usos del agua, entre ellos abastecimiento doméstico, actividades turísticas, piscicultura y usos agropecuarios de pequeña escala. Destaca la presencia de la planta de tratamiento Colonso, principal sistema de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Tena, así como diversos sistemas comunitarios rurales. Estas dinámicas generan presiones diferenciadas sobre el sistema hídrico, particularmente en relación con la generación de

aguas residuales y las limitaciones de infraestructura de saneamiento existentes en la microcuenca.

Finalmente, la hidrología del río Tena refleja una tensión característica de muchas cuencas amazónicas: la coexistencia de una alta disponibilidad natural de agua con presiones socioeconómicas que deterioran su calidad y reducen su aprovechamiento seguro (Celi Jorge et al. 2025; Cuenca et al. 2019; Tapuy 2025; Ecuador GADM Tena 2025; Carrasco 2022), lo cual causa un déficit hídrico. Esta paradoja es clave para comprender el déficit hídrico descrito anteriormente en la región, donde queda claro que, tener ríos con altos regímenes de precipitación, no necesariamente garantizan agua segura para la sociedad que la compone. Esto fundamenta la necesidad de una gestión integrada que incorpore dimensiones ecológicas, institucionales y socioculturales en el manejo del recurso. Estas dinámicas generan presiones sobre los sistemas hídricos, no solo en términos de cantidad de agua extraída, sino también por los impactos indirectos sobre la calidad del recurso, derivados de cambios en el uso del suelo y de la generación de aguas residuales que serán evaluadas metodológicamente de la siguiente forma:

4.1. Análisis de uso de suelo

Para analizar la demanda hídrica desde una perspectiva socioambiental, esta investigación incorpora variables cuantitativas y cualitativas relacionadas con la cantidad de agua disponible y utilizada, así como con los cambios de uso del suelo en la microcuenca del río Tena. El análisis de uso del suelo permite identificar transformaciones territoriales asociadas a la urbanización, la agricultura y otras actividades antrópicas que influyen en los procesos hidrológicos y en la calidad del agua.

Metodológicamente, el cambio de uso de suelo se aborda mediante el análisis de información cartográfica y espacial correspondiente al período 2018–2025, permitiendo identificar tendencias de expansión urbana y modificaciones en la cobertura vegetal en general. Estos resultados se interpretan como parte del territorio hidrosocial, en el cual las decisiones sobre ocupación del espacio inciden directamente en el ciclo hidrosocial y en la sustentabilidad del sistema hídrico.

Para este análisis se utilizaron imágenes satelitales Landsat corregidas para Ecuador, que se obtendrán a través de mapas anuales realizados por la iniciativa MapBiomass Ecuador¹. Esta iniciativa genera mapas anuales de cobertura y uso del suelo

¹ [Mapas de uso y cobertura MapBiomass Ecuador](#)

en todo el territorio ecuatoriano desde 1985 hasta la actualidad. MapBiomias utiliza imágenes satelitales y tecnología de Google Earth Engine para monitorear cambios en bosques, agricultura y otras coberturas, ofreciendo de esta forma datos de libre acceso (Holguín et al. 2025). Para esta tesis, se evaluó el proceso de cambio entre los mapas de 2018 y el último de su colección lanzada en septiembre de 2025. MapBiomias cuenta con una clasificación predeterminada por clases de cobertura y uso de suelo que se describen a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1
Clasificación de cobertura y usos de suelo de MapBiomias a escala regional

Nº	Clase MapBiomias
1	Acuicultura
2	Agricultura
3	Área antrópica sin vegetación
4	Bancos de arena
5	Bosque
6	Cuerpo de agua
7	Formación Natural no forestal
8	Infraestructura urbana
9	Minería

Fuente: (Holguín et al. 2025)
Elaboración propia

Estas clases predeterminadas será contrastadas y validadas con información de uso y cobertura del “Plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) y del plan de uso y gestión de suelo (PUGS) para el periodo 2023–2027” del GAD municipal de Tena y el Ministerio del Ambiente del Ecuador para obtener una clasificación supervisada en la que se pueda observar las diferencias de áreas entre el período de estudio. Una vez validada la información se calculó el cambio porcentual de uso y gestión del suelo aplicando la siguiente Ecuación:

$$\Delta CUS(\%) = \frac{A_{2025} - A_{2018}}{A_{2018}} * 100 \quad (1)$$

Donde

A_{2025} = área de la categoría 2025

A_{2018} = área de la categoría 2018

El análisis permitió identificar expansión urbana, reducción de cobertura vegetal o incremento de áreas intervenidas que representarán un porcentaje de evaluación de cambios entre 2018 y 2025 para fortalecer los resultados del análisis de sustentabilidad. Además, estas transformaciones inciden directamente en la regulación hídrica, ya que la pérdida de cobertura vegetal puede aumentar la escorrentía superficial y reducir la

infiltración, alterando la disponibilidad efectiva del recurso. Para el desarrollo del análisis de sustentabilidad, se evaluaron los porcentajes de área anuales de cada clase de la Tabla 1 tomando en cuenta 3 categorías de presión que van desde presión nula (áreas naturales) hasta presión intensiva (Tabla 2). De esta forma, se normalizó los valores a emplear dentro de la evaluación de sustentabilidad que integra los demás componentes, donde un peso de 1 corresponde a una mayor contribución de sustentabilidad territorial que disminuyen con respecto al enfoque de que mayores daños al territorio hidrosocial se traducen en una menor sustentabilidad para el mismo (Vos y Boelens 2014, 207–11).

Tabla 2
Pesos asignados para la normalización de porcentajes de área en la evaluación de US

<i>Categoría</i>	<i>Descripción</i>	<i>Clase MapBiomás</i>	<i>Peso</i>
Natural	Predominancia de los procesos biológicos originales y no hay una intervención humana directa para la producción.	4, 5, 6 y 7	1
Productivo	Se aprovechan los recursos naturales de manera directa, pero que aún dependen de ciclos biológicos o geológicos.	1, 2 y 9	0.6
Intensivo	La actividad humana ha sustituido casi por completo el entorno natural por infraestructuras o superficies modificadas.	3 y 8	0.2

Elaboración propia

Dicho esto, el indicador de uso y gestión del suelo (US) anual para la integración, de la evaluación de sustentabilidad, se calculó tomando en cuenta el total de área y peso de las categorías descritas en la Tabla 2, mediante la siguiente Ecuación:

$$US_t = \sum(A_c \times P_c) \quad (2)$$

Donde

A_c = Porcentajes de área por categoría del año t

P_c = Peso por categoría

El valor que se obtuvo determina los aumentos o disminuciones anuales como resultado, mostrando así que, si las áreas naturales disminuyen en el período de estudio, el uso y gestión del suelo son un reflejo de pérdida de sustentabilidad.

Los cambios de uso del suelo fueron interpretados como presiones territoriales capaces de modificar la regulación hídrica y la sustentabilidad del sistema. Esto se traduce como la influencia del ciclo hidrosocial en la oferta y demanda hídrica que son el resultado de la cantidad de agua que posee la microcuenca del río Tena.

4.2. Análisis de Cantidad de Agua traducida en disponibilidad

Desde el enfoque del ciclo hidrosocial, los flujos de agua no pueden separarse de las decisiones sociales que configuran el territorio, pues la ocupación del espacio, la expansión urbana y la modificación de coberturas vegetales alteran los procesos de infiltración, escorrentía y regulación hídrica (Linton 2010; Boelens 2015). En este sentido, el análisis conjunto de la cantidad de agua y el cambio de uso de suelo permite identificar presiones estructurales sobre el sistema hídrico de la microcuenca.

Uno de los componentes utilizados para evaluar estas presiones corresponde a la disponibilidad hídrica anual (OH) de la microcuenca estimada mediante un balance hidrológico a partir de registros de caudal obtenidos de las estaciones hidrometeorológicas de la Universidad Regional Amazónica Ikiam y el servicio meteorológico. A partir de estos datos, la oferta hídrica anual se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$OH = Q_{medio} \times t \quad (3)$$

Donde

Q_{medio} = Caudal promedio anual en (m^3/s)

t = tiempo anual en segundos (31,536,000 segundos)

Este procedimiento es consistente con metodologías aplicadas dentro de la microcuenca (Segarra Lindao 2022; Freire-Chafla 2016; Carrasco 2022; Sabando Bravo 2021) y permite estimar el volumen anual disponible de agua en $m^3/año$. No obstante, la disponibilidad hídrica fue interpretada considerando también las transformaciones territoriales que pueden modificar la capacidad de regulación hídrica del ecosistema.

Otro componente considerado en la evaluación corresponde a la demanda hídrica (DH), entendida como el volumen de agua requerido para los principales usos presentes en la microcuenca del río Tena, entre ellos:

- Uso doméstico (agua potable municipal).
- Uso turístico (balnearios, rafting, hospedajes).
- Uso agrícola (riego, pastoreo y acuicultura).

El consumo de agua asociado a usos domésticos, turísticos y productivos genera volúmenes significativos de aguas residuales que pueden afectar directamente los cuerpos receptores, dependiendo de los niveles de tratamiento existentes en la microcuenca. Para estimar la demanda hídrica anual se aplicó la siguiente ecuación:

$$DH = P \times C_{pc} \times 365 \quad (4)$$

Donde

P = Población abastecida (incluyendo un promedio anual de turistas que visitan los balnearios dentro del territorio hidrosocial (Espinosa et al. 2015)).

C_{pc} = Consumo de agua *per cápita* (Litros por habitante por día).

Además, para el análisis de presiones se debe tomar en cuenta también el tratamiento y reciclaje del agua que se pueden evidenciar con la cuantificación de agua residual (AR). Estos constituyen variables cualitativas fundamentales para evaluar la sustentabilidad socioambiental de la microcuenca. La existencia, cobertura y eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales influyen de manera directa en los parámetros físico-químicos del agua del río Tena.

La generación de aguas residuales se estimó asumiendo que aproximadamente el 80 % del agua consumida retorna al sistema como agua residual:

$$AR = DH \times 0.8 \quad (5)$$

El análisis del tratamiento del agua residuales se abordó a partir de información institucional y técnica sobre los sistemas de saneamiento existentes, complementada con observaciones de campo. Esto permitió identificar brechas entre la demanda hídrica, la generación de aguas residuales y la capacidad efectiva de tratamiento, elementos que influyen directamente en la calidad del agua del sistema fluvial.

El balance entre agua captada (OH), agua efectivamente utilizada (DH) y agua desechada (Agua Residual -AR) constituye un indicador de presión sobre el sistema hídrico. Por otro lado, entre DH y AR constituyen un componente central para comprender las presiones antropogénicas sobre la calidad del agua. Desde el enfoque hidrosocial, este balance permite interpretar cómo las actividades humanas modifican las condiciones de disponibilidad y calidad del agua dentro de la microcuenca.

Finalmente, para integrar oferta y demanda cuantitativamente se calculó un índice de estrés hídrico normalizado (IEH) mediante la siguiente ecuación:

$$IEH = 1 - \frac{DH}{OH} \quad (6)$$

Donde valores cercanos a 1 indican baja presión sobre la disponibilidad hídrica, mientras que valores cercanos a 0 reflejan mayores niveles de estrés hídrico asociados a una demanda elevada respecto a la oferta disponible.

5. Evaluaciones de calidad del agua del río Tena

El paso del río Tena por la ciudad del mismo nombre introduce una serie de factores hidrosociales que influyen directamente sobre su calidad y comportamiento. El aumento en las descargas de aguas residuales, la limitada capacidad de tratamiento y la presencia de residuos sólidos flotantes en sectores cercanos a los balnearios urbanos y centros poblados generan impactos medibles en parámetros como DBO, DQO, coliformes fecales, nutrientes y turbidez (San Sebastián y Hurtig 2005; Tapuy 2025; Zabala Pozo 2016; Grandez-Piña et al. 2022; Ecuador CTEA 2022). Estos impactos se intensifican en épocas de alta afluencia turística, especialmente durante feriados y temporadas vacacionales, cuando la demanda recreativa sobre el río aumenta significativamente (Sarmiento León 2025). En el desarrollo de esta tesis el río Tena se convierte en un espacio donde la interacción cotidiana entre habitantes, visitantes e infraestructura urbana moldea continuamente la calidad del agua (Reyes Escate, Hoogesteger, y Boelens 2022; Alba et al. 2025; Hommes, Hoogesteger, y Boelens 2022).

La agricultura, por ejemplo, introduce sedimentos, nutrientes y agroquímicos que modifican los parámetros del agua. Este fenómeno se inscribe en un patrón global con variaciones que dependen de las características geográficas y la estación (Huang et al. 2018; FAO 1996). Los estudios ambientales reconstruyen patrones históricos de extracción de agua y muestran que, en regiones tropicales húmedas, incluso las actividades agrícolas de baja escala pueden generar impactos sustantivos sobre la calidad del agua debido a la erosión y la escorrentía intensa (Huang et al. 2018; Lv, Chen, y Huang 2025; Gomez, Perdiguero, y Sanz 2019). Esta observación es particularmente relevante para microcuencas amazónicas como la del río Tena, donde la relación entre pendiente, suelos frágiles y lluvias intensas amplifica los efectos de la actividad humana.

Se ha establecido que el deterioro o mejora de la calidad del agua es inseparable de la sostenibilidad del territorio hidrosocial. Las percepciones sociales, los valores culturales y las prácticas cotidianas, terminan configurando la forma en que la calidad del agua es entendida por las comunidades y la manera en que dichas comunidades responden a los riesgos o beneficios que del agua se derivan (Alba et al. 2025). Además, la medición de parámetros como turbidez, coliformes fecales, nutrientes o sólidos suspendidos refleja, por tanto, el funcionamiento del territorio y los ensamblajes hídricos (Reyes Escate, Hoogesteger, y Boelens 2022).

El análisis de la calidad del agua se basa en la medición de parámetros físico-químicos que actúan como indicadores del estado del ciclo hidrosocial. Estas mediciones

se interpretan en relación con la demanda hídrica, los usos del suelo y las prácticas de manejo del agua, permitiendo establecer vínculos entre las dinámicas sociales y los cambios observados en la calidad del recurso. De esta forma, la calidad del agua se consolida como un indicador clave para evaluar la sustentabilidad del territorio hidrosocial de la microcuenca del río Tena.

En Ecuador, la calidad del agua se evalúa principalmente bajo los criterios establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Anexo 1, el cual define límites permisibles para distintos usos del agua dulce, entre ellos recreación, preservación de la vida acuática, riego agrícola y consumo humano con o sin tratamiento (Ecuador MAE 2015, art. 1). En esta investigación, dichos estándares permiten comparar los parámetros físico-químicos y microbiológicos registrados en la microcuenca del río Tena durante el período 2018–2025 con los valores de referencia nacionales aplicables a los diferentes usos presentes en el territorio. La Tabla 3 resume los límites normativos considerados para el análisis. Debido a que algunos parámetros instrumentales de monitoreo continuo no poseen regulación específica dentro del TULSMA, también se incorpora su aporte interpretativo para la evaluación integral de la calidad del agua.

Tabla 3
Límites normativos del TULSMA para agua dulce según uso

Parámetro	Unidad	Límite TULSMA	Límite	Observación
Temperatura	°C	Sí	$\leq \pm 3$ °C respecto a referencias	Cambio térmico permitido; no hay valor absoluto.
pH	—	Sí	6,5 – 8,5	Rango permitido para protección ambiental y recreación.
ORP (Potencial Redox)	mV	No	—	Indicador ambiental; no se regula en TULSMA.
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	No (indirecto)	—	Solo se regula indirectamente vía TDS y sales.
Conductividad.	$\mu\text{S}/\text{cm}$	No	—	Parámetro instrumental.
Nitratos	mg/L	Sí	10	Parámetro de compuestos inorgánicos nitrogenados.
Sólidos disueltos totales (TDS)	ppm	Sí	≤ 500 mg/L	Equivale a 500 ppm.
Manganeso	mg/L	Sí	0,1	Desechos de metales pesados.
Oxígeno disuelto (D.O.)	% Saturación	Sí	> 80 %	Límite de saturación con respecto a la temperatura y elevación
Oxígeno disuelto (D.O.)	mg/L	Sí	≥ 5 mg/L	Para protección de vida acuática.
Turbidez	NTU	Sí	≤ 5 NTU	Para agua Clase A destinada a recreación y vida acuática.

Fuente: Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE (2015, art.1)

Elaboración propia

Nota: Los valores de esta tabla son una referencia de la normativa (Ecuador MAE 2015, art. 1) sin embargo, en el anexo 1 esta se extiende según el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos, tales como, consumo humano, uso agrícola, preservación de la vida acuática, entre otros

La pertinencia del marco normativo se vuelve aún más evidente si se considera la brecha entre las metas globales de acceso a agua segura y la realidad de territorios rurales de ingresos medios y bajos. Bain y colaboradores (2020), advierten que los estándares de calidad deben ser interpretados a la luz de las desigualdades territoriales, pues el cumplimiento normativo depende de las capacidades institucionales, de la cobertura del saneamiento y del fortalecimiento técnico de los sistemas de monitoreo. Esto es especialmente relevante para la Amazonía ecuatoriana, donde la dispersión poblacional, la topografía compleja y la limitada infraestructura dificultan la gestión y el control de la calidad del agua.

El análisis normativo también debe situarse dentro de un contexto global de presión sobre los recursos hídricos. Esta creciente demanda intensifica los conflictos por el agua y presiona los estándares normativos, especialmente en regiones donde los recursos institucionales son limitados. En la microcuenca del río Tena, el cumplimiento o incumplimiento de los estándares del TULSMA está íntimamente relacionado con las dinámicas hidrosociales descritas en los bloques anteriores. La expansión urbana aguas arriba, la piscicultura, la presión turística y la presencia de asentamientos rurales sin infraestructuras de saneamiento adecuado generan descargas que afectan los parámetros de calidad (Ecuador GADM Tena 2025; Sabando Bravo 2021; Tapuy 2025; Celi Jorge et al. 2025). Evaluar la evolución temporal de estos parámetros entre 2018 y 2025, como plantea esta tesis, permitirá identificar cómo estos procesos han modificado el metabolismo hídrico del territorio y qué tan alineado se encuentra el sistema con los estándares de sostenibilidad socioambiental.

En síntesis, los elementos desarrollados en esta sección, se articulan en un marco analítico integrado que orienta el estudio de la microcuenca del río Tena y su sustentabilidad junto con las demás componentes de evaluación mediante un análisis integrado que nos permite observar su relación con la calidad del agua.

Para esta observación, se cuenta con una base de datos de parámetros físicos y químicos de calidad del agua medidos en la microcuenca del río Tena en el transcurso de los años que se analizan en esta investigación. Esta base de datos corresponde a los artículos científicos, posters, tesis de grado y otros trabajos de investigación publicados entre 2018 y 2025 que han realizado sus investigaciones dentro de la microcuenca del río Tena. Los datos recolectados se organizarán por fechas y sus respectivas coordenadas para situarlos dentro del área de estudio. Estos datos tendrán diversos parámetros de medición, que dependerán del interés de cada publicación, pero el propósito de esta tesis

de investigación es reunir la mayor cantidad de parámetros medidos dentro de la cuenca para poder relacionarlos tanto con los cambios de uso y gestión del suelo como con las dinámicas poblacionales y de demanda hídrica dentro del territorio hidrosocial. De esta forma se podrá evidenciar de mejor forma si existen cambios significativos a través del tiempo de estudio de 2018 a 2025 comparables con otros estudios que siguen la misma dinámica de investigación, como la tesis de (Sabando Bravo 2021).

Además, para este análisis también se cuenta con información actualizada de algunos de los puntos de comparación que han sido monitoreados mediante una colaboración conjunta interinstitucional entre el Laboratorio Nacional de Referencia del Agua de la Universidad Regional Amazónica Ikiam y el proyecto “Vulnerabilidad Hídrica de la Amazonía ante los efectos del cambio climático y su riesgo a la degradación por contaminación” de la Fundación de estudios ecológicos Ecociencia, principal socio de la Red Amazónica de información socioambiental georreferenciada (RAISG), la cual financia el proyecto. Esta información fue recopilada en dos periodos diferentes de disponibilidad hídrica en 2025 (temporada seca y lluviosa), que guardan relación con el contexto amazónico ecuatoriano, especialmente de la cuenca de río Napo y la microcuenca del río Tena (ver Figura 7).

Finalmente, los datos de calidad del agua recolectados deberán ser normalizados al igual que se ha hecho con las demás variables para la evaluación de sustentabilidad. Esta normalización se llevará a cabo tomando en cuenta los límites establecidos por el TULSMA y otras normativas internacionales que cuentan con investigaciones detalladas para la regulación ambiental de varios parámetros de calidad del agua, verificados y publicados en diferentes años de estudio y según el uso del recurso hídrico (US EPA 2015; CCME 2005, 1999; OMS 2011). Estas normativas permitirán establecer en qué parámetros los límites son máximos, mínimos y entre rangos para realizar la normalización de los mismos. La Tabla 4 presenta las ecuaciones de la normalización para cada caso y su respectiva Ecuación a aplicar en cada parámetro que será normalizado.

Tabla 4

Ecuaciones empleadas para la normalización de parámetros según sus límites permisibles

Límite máximo	Límite mínimo	Rango óptimo
Más alto es peor	Más alto mejor	Necesariamente entre ellos
$I_i = 1 - \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (7)$	$I_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (8)$	$I_i = 1 - \frac{X_i - X_{opt}}{X_{tolerable}} \quad (9)$

Elaboración propia

Donde

i = Parámetro que se desea normalizar.

X_i = Valor de medición observado del parámetro.

$X_{\min}$ = Valor mínimo medido en el período de estudio entre 2018 y 2025.

$X_{\max}$ = Valor máximo medido en el período de estudio entre 2018 y 2025.

X_{opt} = Valor óptimo para las condiciones naturales del río.

$X_{\text{tolerable}}$ = Desviación máxima tolerable por los organismos que habitan o utilizan el agua del río, por ejemplo, en temperatura lo máximo tolerable es de un aumento o disminución de 5°C, para el pH es de 1 unidad.

Una vez normalizados los parámetros medidos, estos se pueden reagrupar por año de estudio, en los sitios que hayan sido monitoreados para después obtener el cálculo del indicador de calidad del agua anual con la siguiente Ecuación:

$$CA_t = \frac{\sum I_i}{n} \quad (10)$$

Donde

I_i = Parámetros normalizados.

n = Número de parámetros usados para el cálculo del indicador CA en el año t .

6. Dinámica poblacional del territorio hidrosocial

La dinámica poblacional constituye un factor determinante en la configuración del territorio hidrosocial, ya que influye tanto en la demanda de agua como en la generación de presiones sobre los sistemas de saneamiento y sus afluentes. En la microcuenca del río Tena, el crecimiento poblacional y los procesos de urbanización han modificado las relaciones entre sociedad y agua, intensificando las presiones sobre la calidad del recurso (Tapuy 2025; Carrasco 2022; Ecuador GADM Tena 2025; Ecuador GAD Tena 2025).

Para el caso de los cambios de densidad poblacional, se emplearon herramientas de sistemas de información geográfica (SIG). La dinámica poblacional fue estimada mediante datos raster anuales del programa WorldPop², los cuales distribuyen población censal utilizando variables auxiliares como uso del suelo, infraestructura y accesibilidad (WorldPop, y Bondarenko 2020). Este programa genera datos de población en formato raster con píxeles de aproximadamente 100 m o 1 km, con estimaciones anuales modeladas (Bondarenko et al. 2025). Las estimaciones se descargan por país y para cada

² La información se puede revisar a través de la página web: WorldPop: Population Counts

año de estudio desde el 2018 hasta 2025, luego se realizó un recorte con el límite de la microcuenca del río Tena que es el territorio hidrosocial del caso de estudio de esta tesis. Con la delimitación del área de estudio se realiza una suma de los pixeles que corresponden a la población total para el año t ; aplicando la siguiente Ecuación:

$$P_t = \sum \text{población en pixeles dentro de la microcuenca} \quad (11)$$

Los datos obtenidos de este cálculo serán comparados con los datos nacionales de los censos de población y vivienda para que exista una consistencia en la tendencia de aumento poblacional.

Finalmente, para el análisis de sustentabilidad hídrica los datos obtenidos en la suma de la Ecuación 11 para cada año se normalizaron aplicando la siguiente Ecuación para el análisis de las dinámicas poblacionales para cada año (DP_t):

$$DP_t = 1 - \frac{P_t - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \quad (12)$$

Donde

P_{min} = menor población obtenida entre 2018 y 2025.

P_{max} = mayor población obtenida entre 2018 y 2025.

El análisis de la dinámica poblacional se realiza a partir de variables cuantitativas, como el crecimiento de la población de la ecuación 12 y su distribución espacial. Además, también se tomará en cuenta variables cualitativas obtenidas mediante entrevistas a la población. Estas entrevistas permiten explorar percepciones, prácticas de uso del agua y formas de interacción con el sistema hídrico, aportando una dimensión social al análisis de la sustentabilidad.

El período de análisis se define en coherencia con la pregunta de investigación y los objetivos planteados, abarcando el intervalo 2018–2025. La integración de información poblacional, cambios de uso de suelo, oferta y demanda hídrica, y calidad del agua permite evaluar de manera conjunta las presiones antropogénicas que actúan sobre el sistema hídrico dentro del área de estudio. Esta información se complementa con instrumentos de planificación territorial como el PDOT del cantón Tena, que permiten contextualizar las dinámicas de crecimiento urbano e intervención territorial presentes en la microcuenca.

Para el componente cualitativo de la investigación, se incorporó la noción de ensamblajes hídricos como una herramienta interpretativa para analizar las relaciones

entre población, infraestructura, usos recreativos y percepciones sociales del agua dentro de la microcuenca del río Tena. Este enfoque permitió contextualizar con entrevistas realizadas a actores sociales y habitantes en general de distintos sectores del territorio, considerando cómo actividades como el turismo, el abastecimiento de agua potable, el uso comunitario del río y las dinámicas urbanas configuran distintas formas de interacción con el recurso hídrico. De esta manera, las percepciones sociales obtenidas en campo pudieron ser interpretadas en relación con las transformaciones territoriales y las presiones identificadas sobre el sistema hídrico local como parte del contraste entre los resultados de sustentabilidad.

En este marco, los indicadores de desarrollo social vinculados al acceso a agua segura son indispensables para comprender la sostenibilidad territorial. Para el caso de la microcuenca del río Tena, estos pueden incluir información comunitaria obtenida por las entrevistas a cerca de:

- Percepciones de acceso a agua potable por sector urbano y rural.
- Percepciones de cobertura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales.
- Niveles de educación y salud vinculadas al agua
- Percepciones de variaciones poblacionales y expansión del uso del suelo.

Integrar estos indicadores en el análisis hidrosocial permitirá evaluar, de manera rigurosa, hasta qué punto las dinámicas territoriales de la microcuenca se orientan hacia la sostenibilidad o, por el contrario, generan presiones que comprometen la calidad del agua y, con ello, el bienestar social.

Para incorporar la dimensión social del análisis, se aplicaron entrevistas semiestructuradas a 20 habitantes de distintos sectores de las parroquias Muyuna y Tena de la microcuenca del río Tena, entre los cuales participaron actores sociales clave como vocales y dirigentes de las juntas parroquiales y de colectivos y asociaciones kichwas que habitan en el área. La selección de los participantes se realizó mediante un muestreo intencional de tipo territorial, buscando incluir tanto zonas urbanas como rurales, especialmente de la parroquia Muyuna, que ocupa la mayor parte del territorio. Este tipo de entrevistas permiten explorar percepciones y experiencias locales manteniendo una guía temática que facilita la comparación entre participantes (Kvale 2010, 56–57; Flick 2015, 160–68).

Las respuestas obtenidas fueron sistematizadas mediante una escala ordinal tipo Likert de cinco niveles, que permitió clasificar las percepciones de los entrevistados en categorías comparables. Este tipo de escala es ampliamente utilizado para medir actitudes

y percepciones en estudios sociales y ambientales (Likert 1932). La combinación de preguntas abiertas con la codificación en escala ordinal permitió transformar información cualitativa en datos comparables, facilitando su integración con los indicadores cuantitativos del ISH. En la Tabla 5 se muestra una ponderación cuantitativa que traduce la entrevista semiestructurada que se aplicó en campo para tomar en cuenta las percepciones poblacionales a cerca del territorio hidrosocial.

Las entrevistas permitieron contrastar las percepciones sociales sobre el agua con los cambios identificados entre 2018 y 2025 en el uso del suelo, la disponibilidad hídrica, la calidad del agua y las dinámicas poblacionales. Esta integración facilitó relacionar las experiencias locales con las presiones socioambientales observadas en la microcuenca del río Tena.

Tabla 5

Preguntas aplicadas a la población que habita dentro de la microcuenca del río Tena

Ponderación cuantitativa para cada respuesta cualitativa:	1	2	3	4	5
Medición cualitativa	Insatisfactorio		Neutro	Satisfactorio	
Temas de interés	Respuesta cualitativa				
Acceso a agua potable por sector urbano y rural.					
¿Considera usted que la red de agua que abastece a su comunidad/barrio está en buen estado?	No hay	No esta	Se daña	Si está bien	Está excelente
¿Usted cree que el sistema de abastecimiento que usa se va degradando?	Se degrada		No sé		No
¿Cuenta con alguna forma extra dentro de su hogar para purificar el agua que consume?	No tengo	Tengo filtro, pero no limpio		Hiervo el agua siempre	Compro botellón
¿Tiene conocimiento de que el agua del río no se debe consumir directamente de la fuente?	No sabía La toma		No la toma		Sabía y la trato antes de tomar
Cobertura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales					
¿Sabe usted donde van sus aguas residuales?	Al río	No sé	Fosa séptica		PTAR
¿Cree usted que es correcto el desecho de sus aguas residuales?	El río se lleva todo	No sé		Puede ser mejor	Es buena la PTAR
Niveles de educación y salud vinculadas al agua					
¿Sabe usted de las principales amenazas de afronta el río Tena?	No		Sé pero no estoy segurx		Los nombra
Ha participado y/o escuchado de algún informativo a cerca del estado del río y cómo poder mejorar los ecosistemas acuáticos?	No sé	Si pero no entiendo	He visto	Sé de qué se trata	He participado
Variaciones poblacionales y expansión del uso del suelo					
¿Cree usted que ha crecido la población a su alrededor en los últimos 7 a 5 años?	No sé	No cambio	Cambio poco	Cambio mucho	Cambio extremo
¿Cree usted que han existido cambios en el uso de la tierra que afecten al río?	No sé	No cambio	Cambio poco	Cambio mucho	Cambio extremo

Elaboración propia

Nota: Las preguntas se realizaron con base en las entrevistas estructuradas del proyecto de Vulnerabilidad Hídrica

Finalmente, la integración de los componentes cuantitativo y cualitativo se realizado mediante el análisis conjunto de los resultados del ISH y las percepciones sociales, permite identificar no solo las condiciones biofísicas del sistema hídrico, sino también cómo estas son percibidas y experimentadas por la población local que permite comprender la relación entre sociedad y naturaleza desde una perspectiva más amplia (Creswell y Plano Clark 2018, 220).

7. Articulación metodológica para el análisis de la sustentabilidad

La integración de los análisis de las variables hidrológicas, territoriales, ambientales y poblacionales desarrolladas en las secciones anteriores conforma el marco metodológico para la evaluación de la sustentabilidad socioambiental de la microcuenca del río Tena. Este enfoque permite operacionalizar los conceptos del Capítulo 1 mediante indicadores observables que representan las interacciones del territorio hidrosocial durante el período 2018–2025.

En este sentido, el presente capítulo establece el vínculo entre el marco conceptual y el análisis empírico, definiendo las variables, indicadores y criterios metodológicos que sustentan la evaluación de la sustentabilidad. Sobre esta base, el Capítulo 3 presentará y discutirá los resultados obtenidos para la microcuenca del río Tena.

7.1. Ponderación de variables para la evaluación de la sustentabilidad en la microcuenca del río Tena

La evaluación de la sustentabilidad en la microcuenca del río Tena se fundamenta en un enfoque integrado que reconoce al agua como un elemento central del sistema socioambiental, en el que convergen procesos biofísicos, dinámicas territoriales y relaciones sociales. Desde esta perspectiva, la sustentabilidad se evalúa mediante la articulación de múltiples indicadores que representan el estado y las interacciones del sistema hidrosocial.

Siguiendo los lineamientos teóricos de los sistemas complejos y de los indicadores de desarrollo sustentable, se adoptó un enfoque de indicadores compuestos, el cual permite integrar variables de distinta naturaleza mediante la asignación de ponderaciones diferenciadas según su relevancia conceptual y su influencia en el sistema analizado (OECD, European Union, y Joint Research Centre - European Commission 2008; Bossel 1999). Este enfoque es ampliamente utilizado en evaluaciones de sustentabilidad hídrica y territorial, particularmente a escala local, donde las interacciones entre agua y sociedad

presentan una alta heterogeneidad espacial y temporal (Sullivan 2002; Garriga y Foguet 2010).

Desde la perspectiva del ciclo hidrosocial, las variaciones en los parámetros físico-químicos del agua reflejan las relaciones entre dinámicas sociales, uso del suelo y gestión territorial, constituyéndose en un indicador integrador de las presiones antropogénicas sobre el sistema hídrico (Linton 2010; Boelens 2015).

Con base en este enfoque, se estableció un sistema de ponderaciones que prioriza la calidad del agua como variable central del análisis, dado su rol integrador de los efectos acumulativos de las actividades humanas sobre el sistema hídrico como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Variables, ponderaciones y referencias conceptuales para la evaluación de sustentabilidad

Variable / Componente	Descripción	Ponderación (%)	Justificación conceptual	Referencias clave
Calidad del agua	Parámetros físico-químicos (pH, OD, conductividad, turbidez, TDS, ORP, entre otros)	40 %	Variable integradora que refleja los efectos acumulativos de las presiones antropogénicas y del ciclo hidrosocial	Linton (2010); Sullivan (2002); Amorocho-Daza et al. (2023)
Cambio y gestión de uso del suelo	Expansión urbana, cobertura vegetal, áreas intervenidas	25 %	Influye directamente en la calidad y disponibilidad del agua mediante procesos de escorrentía, contaminación y pérdida de servicios ecosistémicos	Bossel (1999); Boelens (2015)
Demanda y disponibilidad hídrica	Consumo de agua, presión sobre la oferta hídrica, déficit hídrico (relación directa con el IEH)	20 %	Permite evaluar el balance entre oferta y demanda de agua en un contexto amazónico en transformación	Sullivan (2002); Garriga y Foguet (2013)
Dinámica poblacional	Crecimiento poblacional, densidad, patrones de asentamiento	15 %	Representa las presiones sociales sobre el territorio hidrosocial y la gestión del recurso agua	Boelens (2015); OECD (2008)

Elaboración propia

Complementariamente, se incorporaron variables relacionadas con el uso y gestión del suelo, la demanda y disponibilidad hídrica, y la dinámica poblacional, las

cuales permiten contextualizar los procesos que inciden directamente en procesos que inciden directamente en la conservación o deterioro del recurso hídrico y en la sustentabilidad de la microcuenca.

La asignación de ponderaciones en el Índice de Sustentabilidad Hidrosocial (ISH) responde a un criterio conceptual basado en la función que cada componente cumple dentro del sistema hidrosocial. La calidad del agua (CA) recibió la mayor ponderación por su capacidad de integrar los efectos acumulativos de las presiones antropogénicas sobre el sistema hídrico. El uso y gestión del suelo (US) fue considerado un componente estructural, mientras que el índice de estrés hídrico (IEH) representa la relación entre oferta y demanda de agua. Finalmente, la dinámica poblacional (DP) se incorporó como un factor de presión indirecta asociado a las transformaciones territoriales.

Estas componentes, junto con el peso asignado a cada una de ellas, componen el cálculo del índice de sustentabilidad hidrosocial para cada año de estudio t desde el 2018 hasta el 2025 con la siguiente Ecuación:

$$ISH_t = 0.40(CA_t) + 0.25(US_t) + 0.20(IEH_t) + 0.15(DP_t) \quad (13)$$

Esta distribución busca mantener coherencia conceptual entre los componentes del sistema hidrosocial, priorizando aquellas variables con mayor capacidad integradora sobre las dinámicas territoriales y ambientales de la microcuenca.

Esta distribución busca evitar redundancias, mantener coherencia conceptual y reflejar el carácter integrado de la sustentabilidad hídrica en la microcuenca del río Tena que corresponden con los intereses de esta investigación. Sin embargo, las ponderaciones pueden cambiarse de acuerdo a la perspectiva que se quiera analizar. Así, por ejemplo, si igualamos los pesos de ponderación para cada componente, el resultado será una evaluación de sostenibilidad en la que todas las variables del sistema son dependientes por igual entre sí. Por otra parte, si le damos mayor peso a las variables netamente poblacionales como la DP y IEH, no estamos tomando en cuenta al ecosistema como parte del todo sino más bien la sociedad y sus cambios prevalecen, lo cual nos desvía de los objetivos de esta investigación. Ejemplos de variaciones podrán ser analizados en el siguiente capítulo de resultados, donde se realizará un análisis más a detalle de cada variable y sus componentes evaluadas dentro de los resultados en la microcuenca del río Tema.

Capítulo tercero

Análisis del nexo entre calidad del agua y sustentabilidad: Resultados y evaluación en la microcuenca del río Tena

En los capítulos anteriores se estableció el marco conceptual y metodológico que orienta esta investigación. En el Capítulo 1 se abordaron los principales fundamentos teóricos relacionados con el ciclo hidrosocial, los territorios hidrosociales y la calidad del agua como indicador de sustentabilidad socioambiental. Posteriormente, en el Capítulo 2 se desarrolló la caracterización territorial de la región amazónica y de la microcuenca del río Tena, así como el diseño metodológico utilizado para la construcción del *Índice de Sustentabilidad Hidrosocial (ISH)*, el cual integra distintos indicadores asociados a los componentes del sistema hidrosocial.

En este contexto, el presente capítulo tiene como objetivo presentar y analizar los resultados obtenidos, con el fin de evaluar la sustentabilidad hidrosocial de la microcuenca del río Tena durante el período comprendido entre 2018 y 2025, en cumplimiento con el tercer y último objetivo de esta tesis de investigación. Para ello, se examinan los cambios territoriales y ambientales que se han producido en la microcuenca, así como sus implicaciones sobre el estado del sistema hídrico, las condiciones de calidad del agua y las percepciones de la población con respecto al recurso hídrico.

Los resultados se presentan siguiendo el mismo orden de los componentes considerados para la construcción del ISH, manteniendo la coherencia con el capítulo metodológico. En primer lugar, se analizan los cambios en el uso del suelo y las transformaciones territoriales de la microcuenca. Posteriormente, se examinan las condiciones hidrológicas mediante el Índice de Estrés Hídrico y se discuten las variaciones observadas en la calidad del agua en relación con las actividades antrópicas presentes en el territorio. Finalmente, se abordan las dinámicas poblacionales y la integración de los distintos componentes en el ISH, incorporando además las percepciones sociales obtenidas mediante entrevistas semiestructuradas.

La integración de los distintos componentes permite identificar patrones territoriales y niveles relativos de sustentabilidad hidrosocial en la microcuenca del río Tena, así como reconocer las principales presiones antropogénicas que inciden sobre el sistema hídrico. En este sentido, el análisis desarrollado en este capítulo no se limita a

describir variaciones ambientales, sino que busca interpretar cómo procesos como la expansión urbana, las actividades productivas, el turismo y las transformaciones en el uso del suelo influyen en la calidad del agua y en la sustentabilidad del territorio. El contraste entre los resultados cuantitativos del ISH y las percepciones sociales obtenidas mediante entrevistas permite además incorporar la dimensión local del agua como parte del territorio hidrosocial.

1. Cambios en el uso y gestión del suelo en la microcuenca del río Tena

Las transformaciones en el uso y cobertura del suelo constituyen uno de los factores territoriales que influyen sobre la dinámica hidrológica y la sustentabilidad de la microcuenca del río Tena. Cambios asociados a la expansión agrícolas, el crecimiento urbano y la modificación de coberturas naturales pueden alterar procesos como la infiltración, la escorrentía y la regulación hídrica, generando presiones sobre la calidad y disponibilidad del agua. En este contexto, el análisis temporal del uso del suelo permite tendencias de transformación territorial y evaluar sus posibles implicaciones sobre el sistema hidrosocial de la microcuenca.

A partir de la información generada por la colección de MapBiomás, se obtuvieron los mapas de cobertura correspondientes al período 2018–2024, los cuales permiten examinar la evolución espacial de las principales clases de uso del suelo presentes en la microcuenca. El análisis se desarrolló mediante la delimitación de la microcuenca del río Tena con un área total de 129.57 km², sobre los mapas de uso del suelo disponibles, lo que permitió identificar y cuantificar las distintas categorías de cobertura presentes en el territorio.

A continuación, se presenta la caracterización de las principales coberturas identificadas en la microcuenca y posteriormente se analizan las transformaciones territoriales observadas entre 2018 y 2024, así como sus implicaciones para la sustentabilidad hidrosocial.

1.1. Caracterización del uso del suelo en la microcuenca del río Tena

Las distintas coberturas presentes en el territorio reflejan los procesos de ocupación, aprovechamiento de los recursos naturales y transformación del paisaje que ocurren en el territorio. A partir de esta base de datos se identificaron las clases presentes dentro de la microcuenca del río Tena, previamente establecidas en la Tabla 1, para el período comprendido entre 2018 y 2024.

Los resultados de áreas obtenidas reflejan tanto coberturas naturales como áreas intervenidas por actividades humanas, la Tabla 7 resume la superficie ocupada por cada clase en kilómetros cuadrados para cada año del período de estudio.

Tabla 7
Área [km²] por clase en la microcuenca del río Tena del período de estudio

Área [km ²]	Años de estudio								
	2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2008	1998
Acuicultura	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.01	0.00
Agricultura	22.08	22.86	23.47	24.90	23.79	22.93	21.87	34.54	32.52
Área antrópica sin vegetación	0.55	0.62	0.45	0.40	0.38	0.37	0.37	0.26	0.49
Bancos de arena	0.00	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03
Bosque	105.36	104.56	104.10	102.73	103.82	104.69	105.76	93.64	95.71
Cuerpo de agua	0.29	0.30	0.33	0.33	0.38	0.39	0.41	0.27	0.40
Formación Natural no forestal	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00
Infraestructura urbana	1.13	1.08	1.08	1.07	1.06	1.03	1.02	0.77	0.43
Minería	0.10	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00

Elaboración propia

El análisis de las áreas correspondientes al año 2018, considerado como el inicio del período de estudio, muestra que la microcuenca del río Tena presenta un predominio marcado de coberturas naturales. En particular, la categoría bosque constituye la cobertura dominante, con un promedio de 102.26 km², lo que representa la mayor parte del territorio de la microcuenca. Esta predominancia refleja las características propias de los ecosistemas amazónicos que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), donde la cobertura forestal desempeña un papel fundamental en la regulación hidrológica, la protección del suelo y la conservación de la biodiversidad (Ecuador MAE 2016). En el caso de la RBCC, esta forma parte del SNAP desde abril del 2014, sus evidentes patrones de restauración dan como resultado coberturas de bosque que se han ido recuperando en comparación a los años anteriores de 2008 y 1998 donde hay una diferencia notable en comparación con la actualidad.

La segunda cobertura con mayor presencia corresponde a las áreas destinadas a agricultura, con aproximadamente 21.87 km² en 2018. Estas áreas se localizan principalmente en zonas cercanas a asentamientos humanos y a lo largo de los principales ejes de accesibilidad del territorio. Aunque su extensión es considerablemente menor en

comparación con la cobertura forestal y en general a años pasados con respecto al período de investigación, la agricultura constituye una de las principales formas de intervención del paisaje en la microcuenca y puede generar cambios en las dinámicas de escorrentía, erosión y aporte de sedimentos a los cuerpos de agua.

En menor proporción se identifican otras coberturas asociadas a actividades antrópicas, como la infraestructura urbana, que ocupa aproximadamente 1.02 km², así como áreas clasificadas como área antrópica sin vegetación, con alrededor de 0.37 km². Estas categorías reflejan la presencia de asentamientos humanos, infraestructura y superficies intervenidas que forman parte del proceso de urbanización y expansión territorial progresivo del cantón Tena. Se puede observar que dentro de la microcuenca, esta área ha incrementado en aproximadamente 1 punto entre los años 1998 y la actualidad,

Asimismo, se identifican coberturas relacionadas con actividades productivas específicas, como acuicultura y minería, las cuales presentan extensiones relativamente pequeñas dentro de la microcuenca, con valores inferiores a 0.1 km² durante el período de análisis. Es importante también señalar que antes del dicho período, en 1998 no existía dicha cobertura de uso y gestión del suelo. Aunque su superficie es reducida, estas actividades pueden generar impactos localizados en el entorno hídrico, especialmente en relación con la alteración de cursos de agua o la modificación de las condiciones fisicoquímicas del agua (Celi Jorge et al. 2025).

Por otra parte, se debe tomar en cuenta que en de la microcuenca del río Tena, las superficies clasificadas como minería corresponden principalmente a intervenciones localizadas y de pequeña escala, asociadas a extracción de materiales pétreos y actividades antrópicas puntuales. A diferencia de otras zonas de la Amazonía ecuatoriana afectadas por minería metálica intensiva o explotación petrolera, dentro de la microcuenca no se identifican grandes áreas de actividad extractiva minera durante el período analizado. Sin embargo, estas actividades pueden generar impactos localizados sobre los cursos de agua, particularmente por remoción de sedimentos y alteración física de las riberas.

Finalmente, dentro de las coberturas naturales se registran también pequeñas áreas correspondientes a cuerpos de agua, bancos de arena y formaciones naturales no forestales, las cuales forman parte de la dinámica geomorfológica e hidrológica del sistema fluvial. Estas unidades, aunque de menor extensión, desempeñan funciones

ecológicas relevantes en el funcionamiento del ecosistema acuático y en la conectividad hidrológica de la microcuenca.

En conjunto, esta caracterización inicial evidencia que la microcuenca del río Tena mantiene una alta proporción de cobertura forestal, acompañada por áreas agrícolas y por zonas de ocupación urbana de menor extensión. Esta configuración del paisaje constituye un elemento clave para comprender las dinámicas de transformación territorial que se analizan en las siguientes secciones, así como su influencia en la sustentabilidad hidrosocial del sistema hídrico.

1.2. Dinámica y evolución temporal del uso y gestión del suelo e implicaciones para la sustentabilidad hidrosocial (2018–2024)

El análisis de la dinámica del uso y cobertura del suelo en la microcuenca del río Tena permite identificar las transformaciones territoriales ocurridas entre 2018 y 2024 y evaluar su posible influencia sobre la sustentabilidad del sistema hidrosocial en comparación con la información de hace 20 años atrás. Estas transformaciones reflejan no solo procesos biofísicos asociados a la dinámica del paisaje, sino también decisiones sociales, económicas y políticas que inciden en la ocupación del territorio y en la manera en que el agua es utilizada y gestionada; en la cual el mayor cambio reflejado está en las infraestructuras urbanas en la parte media baja de la microcuenca donde los cambios son más notables.

Los cambios en las coberturas del territorio reflejan procesos de ocupación y transformación que influyen directamente en la dinámica hidrológica de la microcuenca, particularmente en relación con la regulación hídrica, la infiltración y la generación de escorrentía (Linton y Budds 2014; Boelens et al. 2016).

Los mapas de la Figura 8 permiten observar la distribución espacial de las principales clases presentes en la microcuenca durante el periodo de estudio. El resultado mayormente visible es que el bosque constituye la cobertura dominante, lo que refleja el carácter predominantemente natural del territorio.

No obstante, el análisis temporal muestra variaciones en la extensión de algunas coberturas, particularmente en aquellas asociadas a actividades humanas. La agricultura presenta un incremento progresivo durante gran parte del periodo analizado, pasando de aproximadamente 21.87 km² en 2018 a 22.08 km² en 2024, con valores máximos en 2021 y 2022. Este comportamiento sugiere procesos de expansión o intensificación de actividades productivas dentro de la microcuenca, lo que podría estar relacionado con

dinámicas locales de ocupación del territorio en zonas cercanas a asentamientos y vías de acceso, dinámicas que han sido identificadas en otras microcuencas amazónicas sometidas a presión urbana y productiva (Mena et al. 2011; RAISG 2022).

Si bien el incremento agrícola observado es moderado, su expansión en sectores cercanos a drenajes y áreas intervenidas puede contribuir progresivamente al aumento de sedimentos, nutrientes y escorrentía superficial, especialmente en microcuencas amazónicas con pendientes pronunciadas y alta pluviosidad. Tendencias similares han sido reportadas en otras cuencas amazónicas sometidas a procesos de ocupación territorial y expansión productiva (Guyot et al. 2012; Mena et al. 2011).

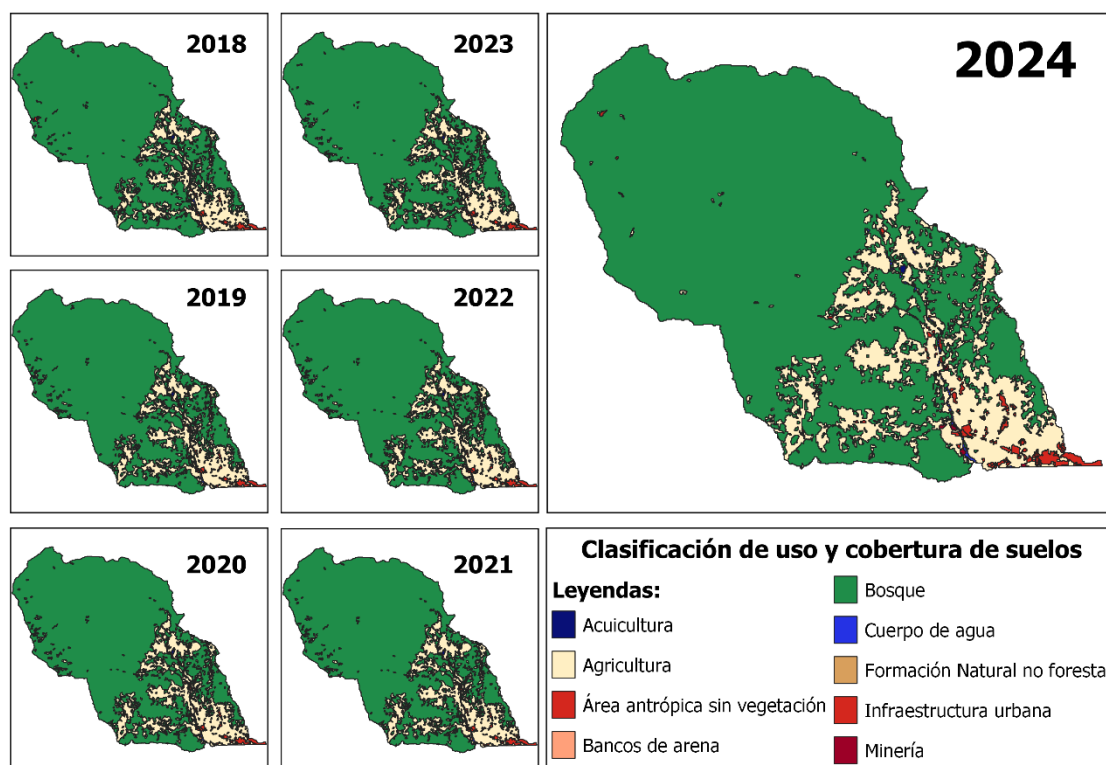


Figura 8. Evolución del uso y gestión del suelo en la microcuenca del río Tena (2018–2024)

Fuente: Adaptada de Holguín et al (2025)

Elaboración propia

De manera similar, la infraestructura urbana muestra una ligera tendencia de crecimiento, aumentando de 1.02 km² en 2018 a 1.13 km² en 2024, lo cual refleja procesos graduales de expansión urbana en el territorio. Aunque la magnitud de este cambio es relativamente pequeña en términos absolutos, su localización espacial puede generar presiones específicas sobre el sistema hídrico, particularmente en zonas cercanas a los cursos de agua o áreas de mayor densidad poblacional. Aunque la superficie urbana continúa siendo relativamente reducida, este tipo de cobertura concentra una proporción

importante de las descargas domésticas y de las superficies impermeabilizadas, lo que incrementa las presiones sobre los sistemas de drenaje y los cuerpos de agua locales dentro de las dinámicas del ciclo hidrosocial.

Por otro lado, la cobertura predominante de bosque de la microcuenca, presenta una ligera disminución en su superficie total, pasando de 105.76 km² en 2018 a 105.36 km² en 2024 y que en comparación con 1998 es casi 10 km² mayor. Si bien esta reducción es relativamente pequeña en comparación con la extensión total de la microcuenca entre 2018 y 2024, su análisis resulta relevante debido al papel que desempeñan los ecosistemas forestales en la regulación hidrológica, la protección del suelo y el mantenimiento de la calidad del agua. En la Figura 9 se puede observar las evidentes diferencias de uso y gestión del territorio antes y después de ser parte del SNAP, considerando un tiempo de 10 años de regeneración desde 2014 al 2024, así como también la ocupación territorial por parte de las dinámicas económicas sociales como infraestructura urbana, agricultura e incluso la minería de material pétreo. La fragmentación progresiva de coberturas naturales y el avance de áreas intervenidas pueden generar efectos acumulativos sobre la regulación hidrológica y la conectividad ecológica del territorio, particularmente en zonas cercanas a áreas urbanizadas y vías de acceso.

Por otro lado, la reducción de aproximadamente 0.40 km² de cobertura forestal entre 2018 y 2024 representa cerca del 0.38 % del área total de bosque de la microcuenca que ha sido modificada fuera de la RBCC, lo que indica que, a escala general, la cobertura forestal se ha mantenido relativamente estable durante el periodo analizado. No obstante, la evidencia de recuperación de bosque es importante para considerar que las variaciones observadas pueden estar influenciadas tanto por cambios reales en el territorio como por incertidumbres asociadas a la clasificación de imágenes satelitales, especialmente en paisajes tropicales heterogéneos donde existen transiciones graduales entre diferentes tipos de cobertura vegetal (Holguín et al. 2025).

De forma similar, las áreas clasificadas como área antrópica sin vegetación también muestran un aumento en su extensión durante el período de estudio, pasando de 0.37 km² en 2018 a 0.55 km² en 2024 que ha fluctuado mucho en años anteriores a esta investigación. Estas superficies corresponden generalmente a zonas intervenidas, áreas en proceso de construcción o espacios con cobertura vegetal removida, lo que refleja procesos de transformación territorial asociados al desarrollo urbano o a actividades productivas.

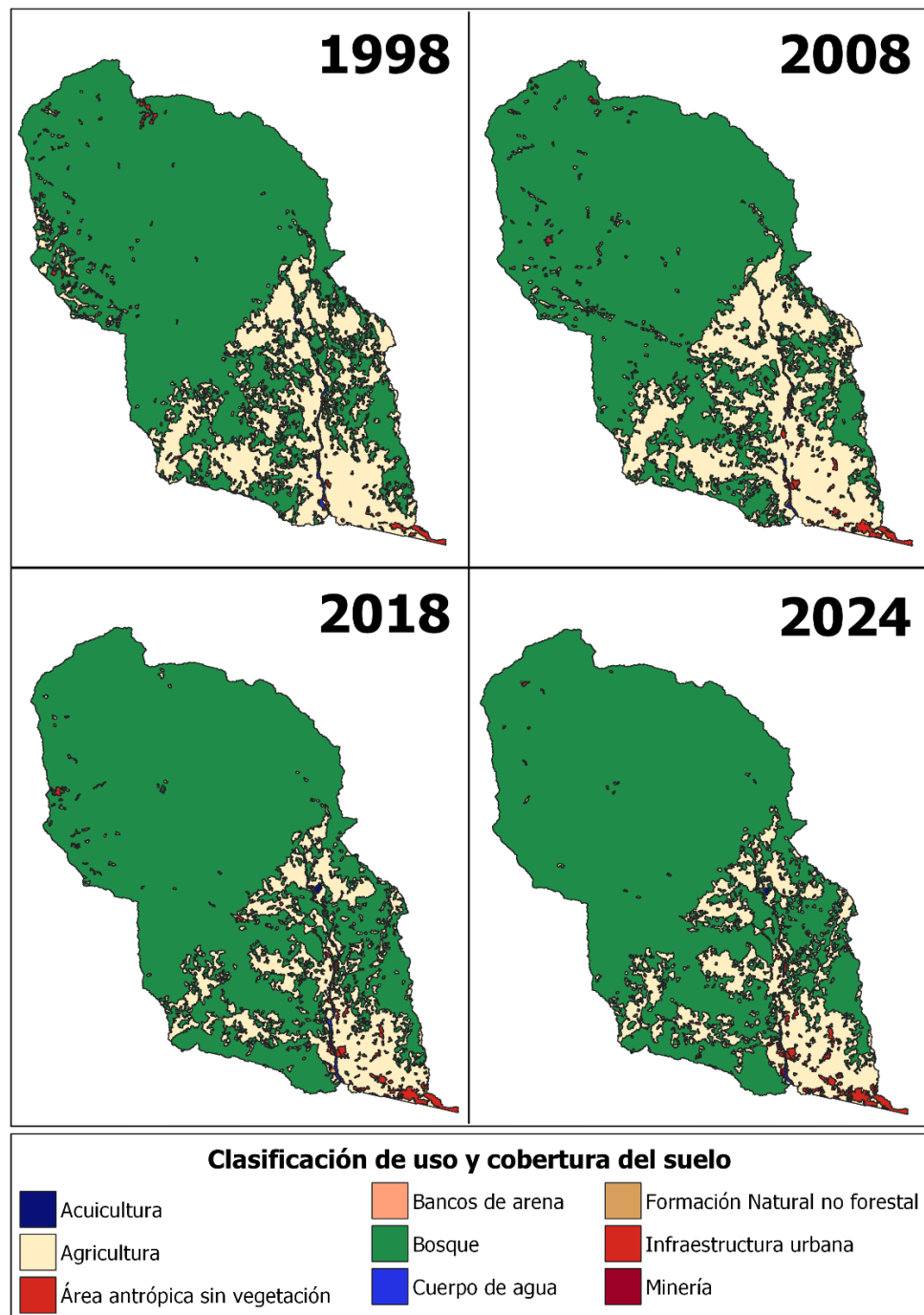


Figura 9. Cambios que destacan del 2018 al 2024 dentro de la dinámica de uso y gestión del suelo de la microcuenca del río Tena

Fuente: Adaptada de Holguín et al (2025)

Elaboración propia

Las demás coberturas identificadas dentro de la microcuenca presentan extensiones relativamente pequeñas y variaciones limitadas a lo largo del período analizado. Este es el caso de las áreas de acuicultura, minería, bancos de arena, cuerpos de agua y formaciones naturales no forestales, cuyas superficies individuales se mantienen por debajo de 0.5 km². Aunque su extensión es reducida, estas categorías

pueden tener implicaciones locales en el funcionamiento del sistema hídrico, particularmente en relación con la alteración de cursos de agua o la modificación de las condiciones ambientales del entorno. Si bien las superficies asociadas a minería son reducidas dentro de la microcuenca, el incremento relativo observado entre 2018 y 2024 y antes de ello en 2008, evidencian la aparición de nuevas áreas intervenidas que no existían en 1998. No obstante, estas corresponden principalmente a actividades localizadas y no a procesos extensivos de minería metálica como los reportados en otras zonas amazónicas del Ecuador. Aun así, su expansión puede generar alteraciones físicas sobre los cauces y contribuir localmente al aumento de sedimentos y turbidez.

En conjunto, estos resultados evidencian que, si bien el territorio mantiene un predominio claro de coberturas forestales, existen procesos de transformación asociados principalmente a la expansión agrícola y al crecimiento de áreas urbanizadas; factores relevantes para las presiones territoriales que inciden en la sustentabilidad hidrosocial de la microcuenca.

Los cambios identificados desde el 2018 al 2024 deben interpretarse como tendencias generales del paisaje, más que como estimaciones exactas de deforestación anual que sugiere un proceso de transformación territorial incipiente. Esto podría intensificarse en el futuro si las dinámicas de ocupación del suelo continúan avanzando sobre áreas naturales adquiriendo relevancia debido a que los ecosistemas forestales desempeñan un papel fundamental en la regulación de los flujos de agua, la protección del suelo y la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad en general, elementos que influyen directamente en la sustentabilidad del sistema socio-ecológico de la microcuenca (Boelens 2015; Guyot et al. 2012).

En términos hidrológicos, la pérdida o fragmentación de cobertura vegetal puede alterar procesos fundamentales del ciclo del agua, tales como la infiltración, la evapotranspiración y la regulación del flujo superficial, lo que a su vez puede influir en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico en las cuencas (Guyot et al. 2012). La Tabla 8 presenta el resumen general del cambio neto de superficie de las principales coberturas entre 2018 y 2024 descritas en esta sección, lo que permite identificar las tendencias generales de transformación del paisaje en la microcuenca.

En síntesis, el análisis de la dinámica de uso y cobertura del suelo en la microcuenca del río Tena evidencia que, aunque el territorio mantiene un predominio de cobertura forestal favorables en comparación con años anteriores, se observan transformaciones graduales asociadas al incremento de superficies agrícolas, urbanas y

otras áreas antrópicas durante el período 2018–2024. Estas variaciones reflejan procesos de ocupación y aprovechamiento del territorio que, si bien aún presentan una magnitud relativamente moderada, pueden generar presiones acumulativas sobre la biodiversidad de los ecosistemas y los recursos hídricos de la cuenca e incluso mostrar tendencias en patrones conductuales reflejo del cambio climático (Larrea 2021). Esto deja en evidencia que el manejo de áreas protegidas genera cambios positivos dentro de la microcuenca, mientras que las intervenciones de la parte baja causan en efecto contrario del enfoque de sustentabilidad.

Bajo esta perspectiva, el siguiente apartado analiza el Índice de Estrés Hídrico (IEH), el cual permite evaluar la relación entre la disponibilidad de agua y la demanda generada por las actividades humanas en la microcuenca durante el período de estudio. Este indicador aporta elementos clave para comprender el nivel de presión que enfrentan los recursos hídricos y su interacción con las dinámicas territoriales previamente descritas.

Tabla 8
Cambio neto y tendencia de uso y gestión de suelo en la microcuenca del río Tena

Clase	Cambio Neto 1998-2018[km²]	Cambio Neto 2018-2024[km²]	% Cambio	Tendencia
Acuicultura	0.07	-0.01	-18.7%	Disminución
Agricultura	-10.65	0.20	0.9%	Incremento
Área antrópica sin vegetación	-0.13	0.18	49.9%	Incremento
Bancos de arena	0.01	-0.04	-93.5%	Disminución
Bosque	10.05	-0.39	-0.4%	Disminución
Cuerpo de agua	0.02	-0.12	-28.4%	Disminución
Formación Natural no forestal	0.01	-0.01	-100.0%	Sin variación
Infraestructura urbana	0.59	0.12	11.4%	Incremento
Minería	0.03	0.06	205.7%	Incremento

Elaboración propia

Nota: El cambio porcentual de la minería muestra valores muy altos debido a que sus cambios se produjeron en superficies muy pequeñas (de 0.03 a 0.1 km²) en el período de estudio

2. Resultados del índice de estrés hídrico (IEH)

El índice de estrés hídrico (IEH) permite evaluar el grado de presión que ejercen las actividades humanas sobre los recursos hídricos disponibles relacionando la oferta hídrica disponible con la demanda de agua generada por la población y las actividades presentes en la microcuenca.

Además de la estimación cuantitativa de oferta y demanda hídrica, se incorporó un análisis cualitativo relacionado con la generación potencial de aguas residuales y las condiciones de saneamiento presentes en la microcuenca. Este enfoque permite interpretar las presiones hidrosociales no solo desde la disponibilidad de agua, sino también desde las condiciones de gestión y retorno del recurso al sistema fluvial.

2.1. Caracterización hidrológica de la microcuenca

La caracterización hidrológica a partir del análisis de los caudales promedio anuales obtenidos mediante la plataforma INAMHI–GEOGLOWS de los ríos a partir de modelos hidrológicos y datos meteorológicos integrados.

Se analizaron cuatro tramos del río Tena, distribuidos a lo largo del sistema fluvial. Tres de estos tramos se localizan dentro de la microcuenca: el primero en la parte alta–media (puente en la comunidad de Atacapi), el segundo en la zona media (puente la parroquia Muyuna) y el tercero en la salida de la microcuenca (puente en el parque La Isla). El cuarto tramo se ubica aguas abajo, fuera de la microcuenca, en el puente Tena, punto donde el río Tena se aproxima a su confluencia con el río Pano. Este último tramo permite contrastar los valores modelados con los registros hidrológicos disponibles en la estación automática del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología ubicada en el sector urbano de la ciudad de Tena.

El análisis de la variación interanual muestra que los caudales presentan fluctuaciones entre los diferentes años del período analizado. En el tramo correspondiente a la salida de la microcuenca en el puente del parque La Isla, los caudales promedio anuales varían aproximadamente entre 8,80 m³/s y 13,64 m³/s, lo que refleja la variabilidad hidrológica característica de las cuencas amazónicas influenciadas por los regímenes de precipitación regional (Ilbay-Yupa et al. 2021; Sabando Bravo 2021). Estudios hidrológicos en la región amazónica han señalado que la disponibilidad de agua en estos sistemas está fuertemente condicionada por la variabilidad climática y los patrones de precipitación que dominan la región andino-amazónica (Guyot et al. 2012; Ilbay-Yupa et al. 2021).

La Tabla 9 presenta los caudales promedio anuales registrados en los diferentes tramos del río durante el período 2018–2025. En términos generales, se observa un incremento progresivo del caudal a medida que el río avanza aguas abajo, lo cual responde a la incorporación de aportes provenientes de tributarios y escorrentía superficial dentro de la microcuenca. Por otra parte, a medida que avanzan los años, se observan disminuciones interanuales importantes en algunos períodos, particularmente entre 2018 y 2024, los caudales presentan variabilidad hidrológica marcada y no una tendencia lineal sostenida de disminución. Estas fluctuaciones podría estar relacionadas con los efectos del cambio climático estudiados en la amazonía (Encalada et al. 2024).

Tabla 9
Promedio anual de caudal por tramo de río de la microcuenca del río Tena

Ubicación microcuenca	Caudal por tramo [m ³ /s]	Año							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Parte alta-media	Puente Atacapi	8,77	7,23	6,51	8,21	7,26	7,32	5,99	8,68
Parte media	Puente Muyuna	11,30	9,43	8,34	10,45	9,24	9,29	7,60	11,02
Salida	Parque La Isla	13,64	11,78	9,90	12,20	10,77	10,77	8,80	12,80
Fuera de la microcuenca	Centro de Tena	24,31	21,01	17,64	21,71	19,17	19,16	15,65	22,77

Fuente: INAMHI GEOGLWS (2025)

Elaboración propia

A partir de los valores de caudal promedio anual se estimó la oferta hídrica (OH) de la microcuenca utilizando la Ecuación 3 presentada en el capítulo 2 (Tabla 10). Este cálculo permitió estimar el volumen total de agua que circula por el sistema fluvial y constituye una aproximación de la disponibilidad hídrica potencial dentro de la microcuenca. La estimación de la oferta hídrica resulta fundamental para evaluar la sustentabilidad del sistema hidrosocial, ya que permite establecer la relación entre la disponibilidad natural del recurso hídrico y las demandas generadas por la población y las actividades humanas presentes en el territorio.

La tabla 10 también muestra el cálculo de la demanda hídrica (DH) asociada al consumo humano dentro del área de estudio (Ecuación 4). Los valores de población fueron obtenidos a partir de los datos anuales del producto WorldPop, recortados al área de la microcuenca del río Tena. Además, también se sumó el total de la población las cifras de visitantes anuales dentro de la provincia de Napo (Espinosa et al. 2015), tomando en consideración que Tena es la ciudad con más visitantes de la provincia

(Ecuador CapTur Napo 2026; Ecuador MinTur 2020, párr. 2). Esto permitió estimar la evolución demográfica del territorio durante el periodo 2018–2025.

En cuanto al consumo per cápita, se adoptó un valor promedio de 0.15 m³ por habitante por día, equivalente a aproximadamente 18,65 m³ por mes, estimado para los hogares de la ciudad de Tena en estudios sobre abastecimiento de agua potable y gestión de recursos hídricos en la zona urbana (Segarra Lindao 2022; Carrasco 2022; Arellano-Barriga y Noboa-Padilla 2024). Este valor refleja los patrones de consumo doméstico asociados al sistema de abastecimiento municipal (Ecuador INEC et al. 2024).

Tabla 10
Oferta, demanda hídrica y generación de aguas residuales entre 2018–2025

Año	Oferta hídrica [Mm³/año]	Demanda hídrica [Mm³/año]	Aguas residuales [Mm³/año]
2018	430.2	4.34	3.47
2019	371.4	4.35	3.48
2020	312.3	4.36	3.49
2021	384.8	4.37	3.50
2022	339.7	4.37	3.50
2023	339.7	4.38	3.50
2024	277.6	4.39	3.51
2025	403.7	4.39	3.51

Elaboración propia

Nota: [Mm³/año] equivale a millones de metros cúbicos por año

Los resultados del cálculo muestran que la demanda hídrica anual de la población de la microcuenca oscila aproximadamente entre 4.34 y 4.39 millones de metros cúbicos por año durante el periodo analizado, evidenciando un incremento progresivo asociado principalmente al crecimiento poblacional registrado en la zona el cual discutiremos en la sección 4 de este capítulo.

No obstante, es importante considerar que la disponibilidad de agua para el consumo humano no depende únicamente de la presencia del río Tena y de la oferta hídrica natural del sistema, sino también de las condiciones de infraestructura y gestión del abastecimiento urbano. En el caso de la ciudad de Tena, la mayor parte de la población se abastece del sistema de captación y tratamiento ubicado en el sector Colonso, el cual constituye la principal fuente de agua potable para el área urbana y periurbana. Este sistema capta agua del río Tena y la conduce hacia la planta de tratamiento, desde donde

se distribuye a los diferentes barrios de la ciudad (Segarra Lindao 2022; Ecuador GAD Tena 2025).

Desde esta perspectiva, la relación entre oferta y demanda hídrica dentro de la microcuenca no puede entenderse únicamente como un balance hidrológico natural, sino como parte de un sistema hidrosocial, en el cual la disponibilidad efectiva del recurso depende de la interacción entre procesos biofísicos, infraestructura hidráulica y dinámicas sociales de consumo.

Adicionalmente, a partir de la estimación de la demanda hídrica se calculó la generación potencial de aguas residuales (AR). Esta estimación asume que aproximadamente el 80 % del agua consumida retorna al sistema hídrico en forma de aguas residuales, ya sea a través de redes de alcantarillado o descargas directas (Dingman 2015, 77). En el contexto de la microcuenca del río Tena, esto implica que una parte significativa de 3.47 a 3.51 millones de metros cúbicos por año del agua utilizada por la población entre 2018 y 2025 vuelve al sistema fluvial después de su uso doméstico sin previo tratamiento. Además, las cifras municipales muestran que el cantón Tena sólo cuenta con el 47 % de cobertura en el servicio de alcantarillado y recolección de aguas residuales (Ecuador GADM Tena 2025, 93). Tomando en consideración que la microcuenca corresponde a la parroquia Muyuna en su mayoría, esta cifra se reduce únicamente de 13,9 %. La limitada cobertura de saneamiento evidencia importantes brechas en la gestión de aguas residuales dentro de la microcuenca, particularmente en sectores rurales, periurbanos.

Aunque la microcuenca presenta una alta disponibilidad de agua en términos volumétricos, el retorno de aguas residuales sin tratamiento adecuado puede afectar la calidad del recurso hídrico y generar procesos de degradación ambiental en los tramos urbanos del río. En este sentido, el análisis del estrés hídrico considera los impactos asociados a la calidad del agua y la integridad ecológica del río Tena para asimilar las descargas generadas por las actividades humanas que no poseen un manejo adecuado para el tratamiento y recolección de las aguas residuales producidas dentro del territorio hidrosocial.

Esta relación entre disponibilidad, consumo y generación de aguas residuales constituye un elemento central para interpretar posteriormente los resultados del Índice de Estrés Hídrico (IEH) en la microcuenca del río Tena.

2.2. Variación temporal del IEH

A partir de la estimación de la oferta (OH) y la demanda hídrica (DH) se calculó el índice de estrés hídrico (IEH) para el periodo 2018–2025, con el fin de evaluar la presión relativa ejercida sobre los recursos hídricos de la microcuenca.

Los resultados obtenidos muestran que el IEH presenta valores relativamente bajos durante todo el periodo analizado, con valores que oscilan aproximadamente entre 0,01 y 0,016. Estos resultados indican que la demanda hídrica generada por la población representa entre 1 % y 1 % de la oferta hídrica anual estimada para la microcuenca (Figura 10).

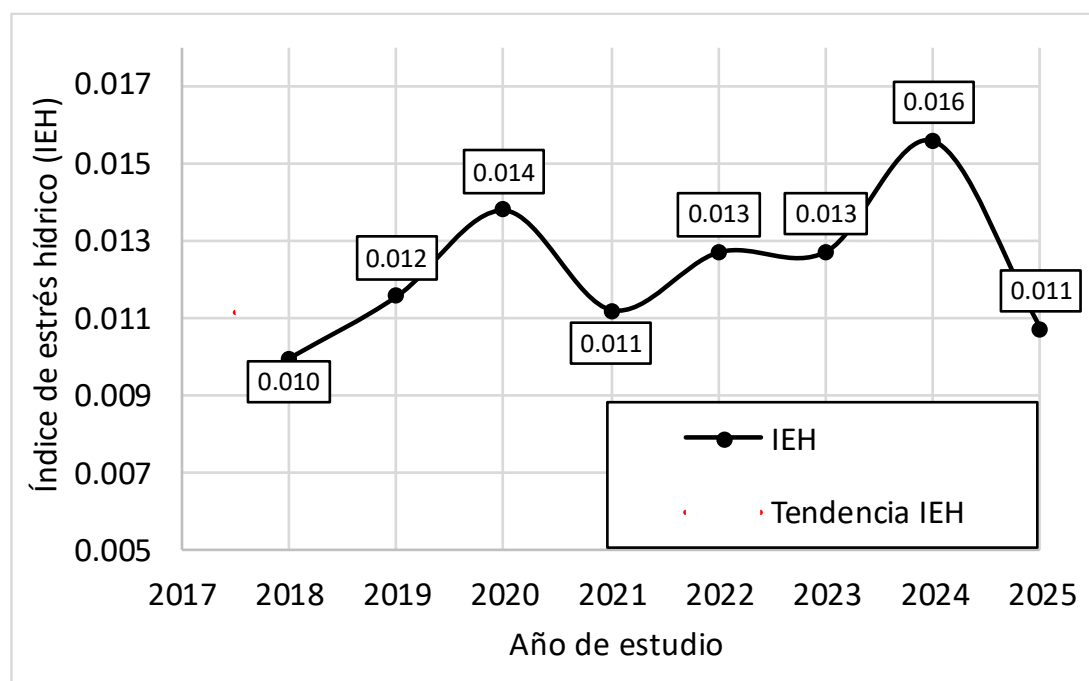


Figura 10. Variación temporal del índice de estrés hídrico (IEH) en la microcuenca del río Tena (2018–2025)

Elaboración propia

La evolución temporal del indicador muestra una ligera tendencia al incremento del IEH a lo largo del periodo analizado, lo cual se explica principalmente por el crecimiento progresivo de la población dentro de la microcuenca, evidenciado en los datos derivados del producto WorldPop. Este incremento poblacional genera un aumento gradual de la demanda hídrica, lo que se refleja en el comportamiento del indicador a lo largo del tiempo.

Sin embargo, también se observa que las variaciones interanuales del IEH están influenciadas por las fluctuaciones en la oferta hídrica estimada a partir de los caudales promedio del río Tena. Por ejemplo, durante el año 2024 se registra uno de los valores

más altos del índice, lo cual coincide con una disminución en los caudales promedio del río durante ese año. Este comportamiento evidencia que el estrés hídrico en la microcuenca responde tanto a factores demográficos como a la variabilidad hidrológica interanual.

Desde una perspectiva comparativa, los valores obtenidos para el IEH indican que la microcuenca del río Tena presenta condiciones de baja presión sobre los recursos hídricos en términos de disponibilidad volumétrica. De acuerdo con los criterios comúnmente utilizados para evaluar el estrés hídrico, valores del índice inferiores a 0,1 indican situaciones de baja presión sobre el recurso hídrico, mientras que valores superiores reflejan niveles crecientes de escasez relativa (Steduto et al. 2012).

No obstante, es importante considerar que el estrés hídrico no depende exclusivamente de la relación entre oferta y demanda de agua como se observó en el apartado anterior. En territorios amazónicos como la microcuenca del río Tena, caracterizados por una alta disponibilidad hídrica natural, las principales presiones se relacionan con procesos de urbanización, cambios en el uso del suelo y descargas de aguas residuales, los cuales pueden afectar la calidad del agua y la funcionalidad ecológica del sistema fluvial. El principal riesgo para la sustentabilidad hídrica de la microcuenca no parece estar asociado a la disponibilidad volumétrica del recurso, sino al deterioro progresivo de su calidad debido al crecimiento urbano, las descargas domésticas sin tratamiento suficiente y las transformaciones territoriales observadas en el uso del suelo.

En este sentido, aunque los resultados del IEH sugieren una baja presión cuantitativa sobre los recursos hídricos, el análisis del sistema hidrosocial de la microcuenca requiere considerar también otros factores territoriales que influyen en la sostenibilidad del recurso, tales como la expansión urbana, la infraestructura de saneamiento y las transformaciones en el uso del suelo dentro de la cuenca que están afectando a la calidad del agua del sistema hídrico. Esta perspectiva permite comprender que la disponibilidad hídrica en la microcuenca del río Tena no solo depende de la abundancia natural de agua, sino también de la capacidad del territorio para gestionar de manera sostenible las relaciones entre sociedad, infraestructura y ecosistemas acuáticos.

2.3. Distribución espacial del IEH

Además del análisis temporal del índice de estrés hídrico, resulta relevante examinar su comportamiento en relación con la configuración espacial de la microcuenca del río Tena, particularmente considerando la localización de los principales tramos del

río, la distribución de la población y la infraestructura de abastecimiento de agua potable (Figura 11). La contribución de caudales de los diferentes tributarios dentro de la microcuenca genera una mayor disponibilidad de agua en los tramos inferiores del río, en la salida de la microcuenca y en la zona urbana de la ciudad de Tena.

Sin embargo, dicha disponibilidad no refleja variaciones en la demanda del tipo consumo, esto debido a que en la parte baja del área de estudio la cobertura del sistema de abastecimiento es de más del 90% y corresponde a la parroquia urbana con menor proporción de área pero mayormente poblada (Ecuador GADM Tena 2025, 93). Por otro lado, en la parte alta de la cuenca, perteneciente a la parroquia rural de Muyuna, la densidad poblacional es menor y la cobertura de la red de abastecimiento no alcanza el 85% (Ecuador GADP Muyuna 2023, sec. “La Parroquia-1.8 Agua”; Ecuador GADM Tena 2025, 93); pero en esta misma parroquia se encuentra el principal sistema de abastecimiento de todo el cantón (planta de tratamiento Colonso).

Desde la perspectiva del estrés hídrico, este patrón espacial implica que las condiciones de disponibilidad del recurso hídrico no son homogéneas dentro del territorio. Mientras que en la parte alta y media de la microcuenca los caudales son relativamente menores, en los sectores cercanos al área urbana se concentra una mayor disponibilidad hídrica asociada al aumento del caudal del río. Sin embargo, estos mismos sectores también concentran la mayor demanda de agua, debido a la presencia de la ciudad de Tena y al crecimiento progresivo de su población. Esto coincide con dinámicas observadas en otras microcuencas amazónicas cercanas, donde las principales presiones hidrosociales se concentran en sectores urbanos y periurbanos, aun cuando la disponibilidad natural de agua continúa siendo elevada (Mena et al. 2011; Carrasco 2022).

En este contexto, la relación entre oferta y demanda hídrica se encuentra mediada por la infraestructura de abastecimiento de agua potable. Esto implica que, aunque la microcuenca presenta una elevada disponibilidad hídrica natural, el acceso efectivo al recurso depende de la capacidad del sistema de captación, tratamiento y distribución.

Desde una perspectiva hidrosocial, esta configuración territorial refleja la interacción entre los procesos naturales del sistema fluvial y las dinámicas sociales de ocupación del territorio. La expansión urbana de la ciudad de Tena, particularmente en los sectores cercanos al río, genera una concentración de la demanda hídrica en la parte baja de la microcuenca, mientras que las áreas altas y medias mantienen una menor presión directa sobre el recurso.



Figura 11. Localización de los tramos analizados del río Tena y del sistema de abastecimiento de agua potable en la microcuenca

Fuentes: Adaptada de Holguín et al. (2025) y Ministerio del Ambiente del Ecuador (2018)

Elaboración propia

En consecuencia, el análisis espacial del IEH sugiere que la microcuenca del río Tena presenta una situación de baja presión hídrica en términos cuantitativos, pero con

dinámicas territoriales que concentran la demanda y las presiones antrópicas en los sectores urbanos de la cuenca lo que evidencia vulnerabilidades asociadas principalmente a las condiciones de saneamiento y a las presiones sobre la calidad del agua. Este comportamiento evidencia que la evaluación del estrés hídrico en territorios amazónicos debe considerar no solo la relación entre oferta y demanda de agua, sino también la forma en que los procesos sociales, la infraestructura hidráulica y los patrones de ocupación del territorio configuran la interacción entre la sociedad y el sistema hídrico.

En síntesis, los resultados del índice de estrés hídrico indican que la microcuenca del río Tena presenta bajos niveles de presión sobre el recurso hídrico en términos de disponibilidad volumétrica, ya que la demanda generada por la población representa una fracción relativamente pequeña de la oferta hídrica estimada en el sistema fluvial. No obstante, como se ha señalado desde una perspectiva hidrosocial, la sostenibilidad del recurso hídrico no depende únicamente de la relación entre oferta y demanda de agua, sino también de otros factores asociados al uso del territorio, la infraestructura de abastecimiento y saneamiento, y las presiones antrópicas que pueden afectar la calidad del agua. En este contexto, resulta necesario complementar el análisis cuantitativo de la disponibilidad hídrica con una evaluación de las percepciones sociales en la microcuenca.

Adicionalmente, el retorno de una parte importante del agua consumida en forma de aguas residuales domésticas constituye otro elemento relevante. Estas descargas tienden a concentrarse en los tramos urbanos donde el crecimiento poblacional y las actividades domésticas generan mayores volúmenes de aguas residuales. Dichas descargas terminan finalmente en el río Tena, debido a la insuficiencia del sistema de saneamiento. La concentración acumulativa de estas descargas puede generar presiones adicionales sobre la calidad del agua y la integridad ecológica del sistema fluvial. Por ello, en el siguiente apartado se presentan los resultados del análisis de calidad del agua (CA) del río Tena, con el fin de identificar posibles presiones ambientales asociadas a las dinámicas urbanas y territoriales presentes en la microcuenca.

3. Resultados de la calidad del agua (CA)

Los resultados de calidad del agua en la microcuenca del río Tena se obtuvieron a partir de datos recopilados entre los años 2018 y 2025, provenientes de diferentes campañas de monitoreo y estudios previos realizados en la zona (Anexo 1), cuyos datos fueron sistematizados y normalizados para permitir su comparación temporal. La base de datos integra información de diversos tributarios y puntos de muestreo distribuidos a lo

largo del río Tena y sus principales afluentes, incluyendo los ríos Colonso, Shitig y Pashimbi, así como algunos tributarios menores ubicados en sectores periurbanos y áreas con influencia de actividades productivas.

A continuación, se presenta un análisis de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en la recopilación de información que nos permitirá evaluar el contexto de las propiedades físicas y químicas del agua dentro de la microcuenca del río Tena. Se analizará también la distribución espacial de los puntos de monitoreo para finalmente realizar una interpretación socioambiental.

3.1. Análisis de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros analizados incluyen temperatura, pH, conductividad eléctrica (EC), sólidos disueltos totales (TDS), oxígeno disuelto (DO), turbidez, nitratos y manganeso asociados a procesos naturales o actividades antrópicas.

En términos generales, la temperatura del agua registrada en los distintos puntos de monitoreo varió entre aproximadamente 18,9 °C y 31,5 °C, valores que corresponden a rangos típicos de ríos tropicales amazónicos que evidencian los efectos del cambio climático dentro de sus ecosistemas (Encalada et al. 2024, 9). El pH mostró valores comprendidos entre 6,39 y 8,8, indicando condiciones mayormente neutras a ligeramente alcalinas. El valor máximo de pH reportado de 8,8, excede la normativa medioambiental de la legislación ecuatoriana (Ecuador MAE 2015, art. 1) y es un indicativo de amenaza o presión ambiental; este valor fue reportado en el río Shitig, cerca del límite de la Reserva Biológica Colonso Chalupas, en el año 2018, donde se reporta la presencia de acuicultura (Capparelli et al. 2020). La presencia de estas actividades puede modificar localmente las condiciones fisicoquímicas del agua debido al aporte de materia orgánica, nutrientes y alteraciones en la dinámica del flujo, especialmente en sistemas de baja escala donde el tratamiento y manejo de descargas es limitado.

La conductividad eléctrica presentó valores relativamente bajos, entre 4 y 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que sugiere una baja concentración de sales disueltas en el agua, característica común en sistemas fluviales amazónicos dominados por aportes de agua de lluvia y escasa mineralización geológica. De manera consistente, los sólidos disueltos totales (TDS) registraron concentraciones reducidas, generalmente inferiores a 25 mg/L.

En relación con el oxígeno disuelto, los valores oscilaron entre aproximadamente 62 % y 151 % de saturación. Los valores elevados observados en algunos puntos podrían estar asociados a condiciones de alta turbulencia o actividad fotosintética en determinados

sectores del río. Por otra parte, los valores reportados menores a 60% son reportados como negativos para la proliferación de especies y la vida acuática en general y es considerado por debajo del límite permisible (Ecuador MAE 2015, art. 1)

Por su parte, la turbidez presentó una alta variabilidad espacial y temporal, con valores que oscilaron desde menos de 1 NTU hasta valores superiores a 400 NTU en ciertos registros recientes que según el uso del agua podrían ser considerados aptos o no para las actividades humanas (Ecuador MAE 2015, art. 1; Celi 2005). Estos incrementos puntuales podrían relacionarse con eventos de precipitación intensa, movilización de sedimentos o perturbaciones locales en el cauce (Guyot et al. 2012).

Finalmente, las concentraciones de nitratos registradas en los distintos puntos de monitoreo se situaron generalmente por debajo de 1,2 mg/L, mientras que los valores de manganeso mostraron una variabilidad considerable, desde concentraciones menores a 0,01 mg/L hasta valores superiores a 0,6 mg/L en algunos registros en los cuales excede la normativa ecuatoriana e internacional (Capparelli et al. 2020; Sabando Bravo 2021; Ecuador MAE 2016).

Si bien la presencia de manganeso puede asociarse tanto a procesos geogénicos naturales, como a actividades antrópicas como la minería metálica, dentro de la microcuenca del río Tena no se identificaron este tipo de actividades extractivas a gran escala comparables a las presentes en otras cuencas amazónicas ecuatorianas afectadas por extracción aurífera. Las actividades mineras identificadas corresponden principalmente a la extracción de material pétreo y a presiones indirectas asociadas a dinámicas extractivas regionales que pueden ser la causa de los elevados niveles de manganeso. Otra de las causas se relaciona con los principales procesos de alteración observados en la microcuenca vinculados a la urbanización, turismo, agricultura y deficiencias de saneamiento que pueden causar deterioros en los ecosistemas acuáticos y en la salud humana. La Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (US EPA), ha declarado que la ingesta progresiva de manganeso, que supere los 0,3 mg/L puede causar problemas de salud (US EPA 2015).

En conjunto, estos resultados reflejan una calidad del agua predominantemente influenciada por procesos naturales propios de sistemas fluviales amazónicos (Guyot et al. 2012; Espinoza et al. 2010), aunque con variaciones puntuales que podrían estar asociadas a la presencia de actividades humanas en determinados sectores de la microcuenca (Sabando Bravo 2021; Celi Jorge et al. 2025). La Tabla 11 muestra un

resumen de las concentraciones máximas, mínimas y el promedio entre 2018-2025 de los valores mencionados.

Tabla 11
Máximo, mínimo y promedio de parámetros reportados en monitoreos de calidad del agua (2018-2025)

Parámetro	Unidad	Máximo	Mínimo	Promedio
Temperatura	[°C]	31,50	18,9	23,38
pH		8,80	6,39	7,61
Conductividad	[μS/cm]	50,00	4	28,65
TDS	[mg/L]	23,00	6	14,90
Oxígeno Disuelto	[%]	151,60	62,8	94,55
Turbidez	NTU	452,30	0,232	18,34
Nitratos	[mg/L]	1,20	0,1	0,59
Manganeso	[mg/L]	0,68	0	0,16

Fuentes: Capparelli et al. (2019); Galarza et al. (2021); Sabando Bravo (2021); RAISG (2025)
Elaboración propia

Con el fin de comparar los diferentes parámetros fisicoquímicos y evaluar de manera integrada la calidad del agua en la microcuenca del río Tena se empleó la metodología de normalización explicada en el capítulo anterior.

Una vez obtenidos los valores normalizados de cada parámetro, estos fueron agregados para calcular un indicador anual de calidad del agua mediante el promedio de los parámetros disponibles para cada año de monitoreo. Este indicador permite comparar la evolución temporal de la calidad del agua y analizar posibles variaciones entre los distintos sectores de la microcuenca. El cual se detalla en el siguiente apartado.

3.2. Variación temporal de la calidad del agua

La variación temporal de la calidad del agua en la microcuenca del río Tena fue evaluada mediante el cálculo del índice de calidad del agua (CA) para los años en los que se dispuso de información de monitoreo entre 2018-2025, el número de afluentes monitoreados y el total de puntos de monitoreo para cada año de estudio. Este índice se obtuvo a partir de la normalización de los parámetros fisicoquímicos medidos en cada uno de los puntos y su posterior integración en un indicador promedio anual observados en la Tabla 12.

Los resultados muestran que, en términos generales, la calidad del agua en la microcuenca se mantiene dentro de rangos mayoritariamente buenos, con valores del índice CA comprendidos entre 0,50 y 0,66 durante el periodo analizado. No obstante, se observan variaciones temporales que reflejan cambios en las condiciones ambientales y en la presión antrópica sobre el sistema fluvial.

Tabla 12

Evolución temporal del índice CA en la microcuenca del río Tena (2018–2025)

Año	Afluentes	Puntos monitoreo	Parámetros	Índice CA	Calidad
2018	4	10	4	0,50	Moderada
2019	5	21	8	0,66	Buena
2020	5	13	6 - 8	0,66	Buena
2022	2	2	7	0,51	Moderada
2025	3	10	6 - 8	0,59	Moderada

Elaboración propia

En el año 2018, el índice de calidad del agua alcanzó un valor de 0,5; este corresponde a una clasificación de calidad moderada. Este resultado se obtuvo a partir de datos provenientes de cuatro afluentes y 10 puntos de monitoreo, lo que permitió una cobertura relativamente amplia de la microcuenca. Sin embargo, la cantidad de parámetros monitoreados en este año fueron solo 4 por ende, se interpretaría que hay un posible sesgo de información. Los valores registrados sugieren condiciones fisicoquímicas moderadas, las cuales deben ser analizadas en los años siguientes para su análisis de variabilidad.

Durante 2019, el índice CA mostró un valor de 0,66; de esta manera, aumentó la categoría de calidad a buena. En este año se registró el mayor número de puntos de monitoreo del periodo analizado, con 21 sitios distribuidos en cinco afluentes, lo que permitió captar una mayor variabilidad espacial dentro de la microcuenca. Dicho resultado, fortalece lo planteado anteriormente, a mayor cantidad de parámetros y puntos se obtiene un resultado más fortalecido. Este resultado podría estar asociado a una mayor representatividad espacial y analítica del monitoreo realizado durante ese año, debido a incrementos puntuales del número de parámetros evaluados como de los puntos de monitoreo considerados.

En 2020, el índice de calidad del agua se mantuvo en un valor similar (0,66), también dentro de la categoría de calidad buena. A pesar de contar con un número menor de puntos de monitoreo (13 sitios), los resultados sugieren una relativa estabilidad en las condiciones fisicoquímicas del sistema fluvial durante este periodo.

Por el contrario, en 2022 se registró el valor más bajo del índice CA (0,51), correspondiente a una clasificación de calidad moderada. Este resultado debe interpretarse con cautela, ya que el análisis se basó únicamente en dos puntos de monitoreo ubicados en dos afluentes, lo que limita la representatividad espacial de los

datos. No obstante, este descenso podría reflejar condiciones locales de alteración asociadas a actividades productivas o a la dinámica hidrológica del periodo de muestreo.

Finalmente, en 2025 se observa una recuperación parcial del índice de calidad del agua, alcanzando un valor de 0,59; nuevamente dentro de la categoría de calidad moderada. En este año se monitorearon diez puntos distribuidos en tres afluentes, lo que permitió ampliar nuevamente la cobertura del análisis. Este incremento sugiere que, a pesar de las presiones antrópicas existentes en la microcuenca, el sistema fluvial mantiene una capacidad de resiliencia que contribuye a sostener condiciones relativamente favorables de calidad del agua.

En conjunto, la evolución temporal del índice CA indica que la microcuenca del río Tena presenta una calidad del agua predominantemente moderada-buena durante el periodo 2018–2025. Tomando en consideración que la representatividad del número de parámetros y puntos de monitoreo es relevante en los resultados de esta normalización, se puede tomar como referencia que el indicador muestra fluctuaciones temporales moderadas entre los años de estudio que pueden estar asociadas a la influencia de actividades humanas en determinados sectores de la cuenca. Para ello, en el siguiente apartado analizaremos espacialmente la distribución de puntos de monitoreo y su interacción con las demás variables del estudio.

3.3. Distribución espacial de la calidad del agua

La distribución espacial de la calidad del agua en la microcuenca del río Tena fue analizada a partir de los resultados del índice de calidad del agua (CA) calculado para los distintos puntos de monitoreo. Este análisis permite identificar patrones espaciales asociados tanto a las condiciones naturales del territorio como a las actividades humanas que se desarrollan en diferentes sectores de la microcuenca.

La Figura 12 muestra la localización de los puntos de monitoreo de calidad del agua distribuidos en los ríos Colonso, Shitig, Pashimbi y el río Tena. La disposición espacial de estos puntos evidencia la transición existente desde áreas de alta cobertura de bosque natural y menor intervención antrópica, ubicadas en la parte alta de la microcuenca, hacia sectores con mayor presencia de actividades productivas, infraestructura y expansión urbana en las zonas media y baja.

En el caso del río Colonso, los puntos de monitoreo se ubican dentro del área de influencia de la Reserva Biológica Colonso Chalupas (RBCC), un área protegida caracterizada por una amplia cobertura de bosque natural amazónico. La presencia de

ecosistemas bien conservados contribuye a mantener condiciones favorables para la conservación de la calidad del agua, ya que la cobertura forestal actúa como un filtro natural que reduce la erosión, retiene sedimentos y regula el transporte de nutrientes hacia los cuerpos de agua (Allan 2004; Dingman 2015). En este contexto, los valores del índice CA asociados a este afluente reflejan una calidad del agua relativamente alta, coherente con el bajo nivel de intervención humana y con el papel ecológico de las áreas protegidas en la conservación de los servicios ecosistémicos hídricos.

Por su parte, el río Shitig presenta un escenario distinto, donde comienzan a evidenciarse usos del suelo vinculados a actividades acuícolas, agricultura y recreación turística, particularmente a través de balnearios naturales utilizados para actividades recreativas. Estas actividades pueden generar presiones puntuales sobre la calidad del agua, principalmente a través del incremento de materia orgánica, nutrientes o sedimentos asociados a prácticas productivas o a la afluencia de visitantes (Carpenter et al. 1998; Vörösmarty et al. 2010). Sin embargo, debido a que estas actividades se desarrollan en sectores aun relativamente rurales y con presencia de cobertura vegetal, su impacto sobre la calidad del agua tiende a ser moderado y localizado.

En el río Pashimbi, ubicado en la parte media–alta de la microcuenca, se observa una transición más marcada en los patrones de uso del suelo. En esta zona comienzan a aparecer áreas destinadas a actividades agrícolas, zonas antrópicas con menor cobertura vegetal e infraestructura urbana dispersa, lo que refleja el avance de procesos de ocupación del territorio asociados al crecimiento de la ciudad de Tena y al desarrollo de actividades productivas locales. En este contexto, los resultados del índice CA sugieren una mayor variabilidad en la calidad del agua, reflejando la influencia de estas transformaciones territoriales sobre el sistema fluvial.

Finalmente, el río Tena, que constituye el eje principal de drenaje de la microcuenca, concentra la mayor parte de las presiones antrópicas identificadas en el territorio. A lo largo de su curso se observan extensas áreas antrópicas sin cobertura vegetal, infraestructura urbana, vías de comunicación cercanas al cauce y múltiples puentes carrozables, además de actividades como agricultura, extracción de material pétreo y turismo recreativo en balnearios naturales. Estas condiciones incrementan la probabilidad de aportes por remoción de sedimentos, residuos sólidos, alteración de cauces y contaminantes asociados a actividades humanas, lo que puede afectar la calidad del agua, especialmente en sectores cercanos al área urbana de la ciudad de Tena.

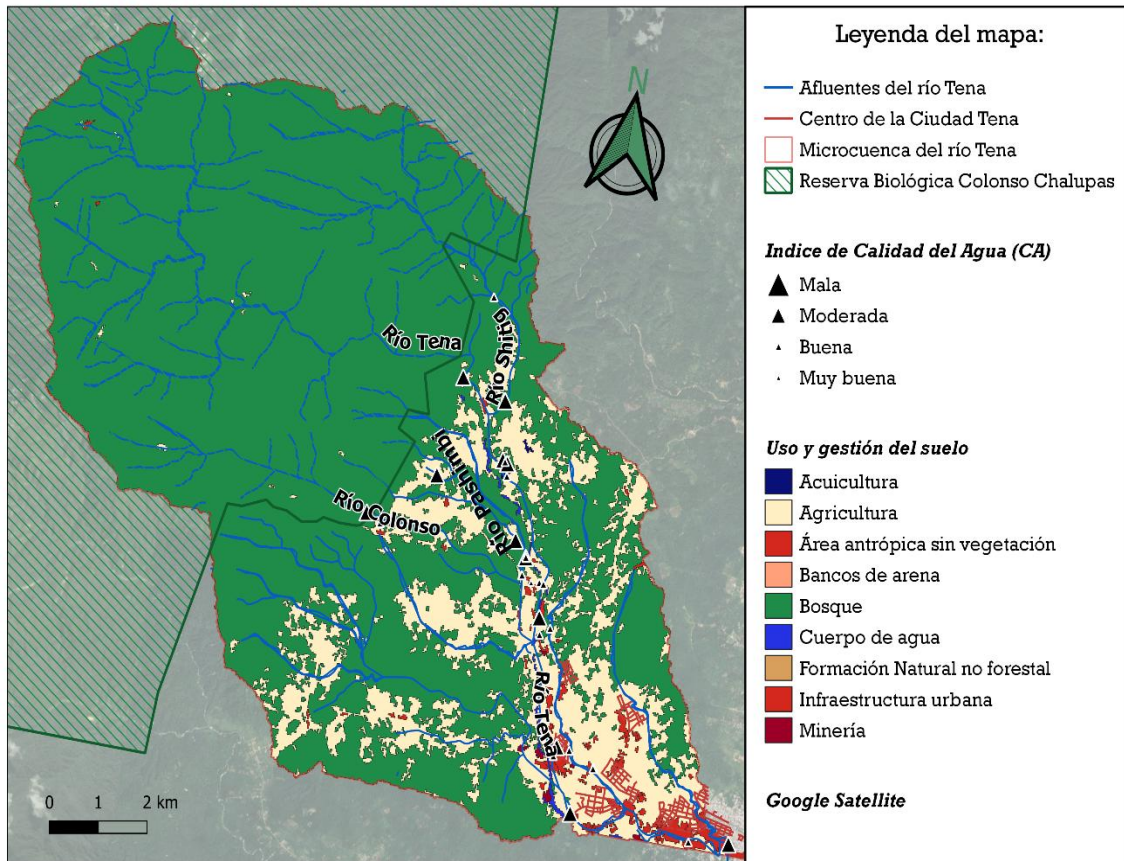


Figura 12. Distribución espacial de los puntos de monitoreo de calidad del agua en la microcuenca del río Tena

Fuentes: Adaptada de Holguín et al. (2025), Ministerio del Ambiente (2028), Capparelli et al. (2019); Galarza et al. (2021); Sabando Bravo (2021); RAISG (2025)

Elaboración propia

La proximidad entre las infraestructuras urbanas y los cursos de agua también incrementa la vulnerabilidad del sistema fluvial frente a descargas de aguas residuales o escorrentía urbana, fenómenos que han sido ampliamente documentados en cuencas tropicales en proceso de urbanización (Vörösmarty et al. 2010; UNESCO 2019; WWAP 2017). Este comportamiento difiere de otras microcuencas amazónicas ecuatorianas donde la minería metálica constituye la principal fuente de deterioro hídrico, evidenciando que en el caso del río Tena las presiones predominantes están asociadas principalmente a urbanización, turismo y cambios de uso del suelo. No obstante, a pesar de estas presiones, los resultados del índice de calidad del agua indican que el sistema fluvial mantiene condiciones relativamente estables, lo que podría estar relacionado con la capacidad natural de dilución y renovación del sistema fluvial.

En conjunto, el análisis espacial de la calidad del agua evidencia un gradiente territorial claramente asociado al uso y cobertura del suelo, donde las mejores condiciones se observan en sectores con predominancia de bosque natural y baja intervención humana,

mientras que en las zonas con mayor presencia de actividades productivas y expansión urbana se registran señales de presión sobre el sistema hídrico.

Estos resultados ponen de manifiesto la relación existente entre el uso del territorio y las condiciones de calidad del agua dentro de la microcuenca del río Tena. En la siguiente subsección se desarrolla una interpretación socioambiental de la calidad del agua, con el fin de comprender cómo la interacción entre las comunidades locales y los ecosistemas fluviales inciden en las condiciones actuales del sistema hídrico.

3.4. Interpretación socioambiental

Los resultados del análisis de calidad del agua en la microcuenca del río Tena evidencian que, si bien los valores del índice de calidad del agua (CA) se mantienen mayoritariamente dentro de rangos considerado entre moderado y bueno, la distribución espacial y las variaciones temporales observadas reflejan la influencia de distintos procesos socioambientales que configuran el territorio. En este sentido, la calidad del agua no puede interpretarse únicamente como el resultado de procesos físico-químicos o hidrológicos, sino como una expresión de las relaciones entre sociedad, ecosistemas y usos del territorio que caracterizan al sistema hidrosocial de la cuenca.

Uno de los elementos más relevantes identificados en el análisis espacial es la existencia de un gradiente socio-ecológico dentro de la microcuenca, donde las mejores condiciones de calidad del agua se asocian a sectores con predominancia de cobertura de bosque natural y menor intervención humana, como ocurre en el río Colonso dentro del área de influencia de la RBCC. En estos sectores, los ecosistemas forestales desempeñan un papel fundamental en la regulación de los procesos hidrológicos y en la conservación de la calidad del agua, al reducir la erosión, filtrar contaminantes y mantener la estabilidad de los sistemas fluviales (Allan 2004; Dingman 2015).

En contraste, a medida que se avanza hacia las zonas media y baja de la microcuenca, particularmente en los ríos Shitig, Pashimbi y el propio río Tena, se observa una mayor presencia de actividades productivas, infraestructura y expansión urbana, lo que introduce nuevas presiones sobre el sistema hídrico. Actividades como la agricultura, la acuicultura, la minería artesanal, el turismo recreativo y la expansión de la infraestructura vial generan aportes potenciales de sedimentos, nutrientes y otros contaminantes que pueden alterar las condiciones físicoquímicas del agua (Carpenter et al. 1998; Vörösmarty et al. 2010).

No obstante, los resultados obtenidos sugieren que el sistema fluvial de la microcuenca aún mantiene una capacidad relativa de resiliencia ecológica, probablemente asociada a la alta disponibilidad hídrica característica de la región amazónica y a la presencia de importantes áreas de cobertura forestal en la parte alta de la cuenca. Sin embargo, esta capacidad podría verse progresivamente comprometida si continúan intensificándose los procesos de urbanización, expansión territorial y presión sobre los sistemas de saneamiento. Estos factores contribuyen a procesos naturales de dilución, autodepuración y regulación hidrológica que favorecen la conservación de condiciones relativamente estables de calidad del agua.

Sin embargo, desde una perspectiva hidrosocial, la estabilidad actual de la calidad del agua no debe interpretarse como una condición permanente o garantizada. Por el contrario, los cambios en el uso del suelo, el crecimiento urbano y el aumento de las actividades económicas en el territorio pueden modificar progresivamente las dinámicas del sistema hídrico, incrementando las presiones sobre los ríos de la microcuenca. En este contexto, la calidad del agua se convierte en un indicador clave para comprender cómo las transformaciones territoriales y las prácticas sociales influyen en la sostenibilidad de los recursos hídricos.

Además, la presencia de balnearios recreativos y espacios de uso turístico en varios de los ríos analizados evidencia que el agua cumple no sólo una función ecológica o productiva, sino también social, cultural y recreativa para las comunidades locales y para la población urbana de la ciudad de Tena. Además de sus funciones sociales y económicas, estos sistemas fluviales sostienen procesos ecológicos fundamentales para la biodiversidad amazónica y la conservación de los ecosistemas acuáticos de la microcuenca. Estas múltiples funciones refuerzan la importancia de gestionar el recurso hídrico desde una perspectiva integrada que considere simultáneamente sus dimensiones ambientales, sociales y económicas.

En este sentido, el análisis de calidad del agua desarrollado en esta investigación permite comprender que las condiciones actuales del sistema fluvial de la microcuenca del río Tena son el resultado de interacciones complejas entre procesos naturales y dinámicas sociales, donde los cambios en el territorio, las prácticas productivas y las formas de ocupación del espacio influyen directamente en el estado del recurso hídrico.

Finalmente, para comprender de manera más completa las presiones que enfrenta el sistema hídrico de la microcuenca, resulta necesario analizar también las dinámicas demográficas que caracterizan al territorio en la siguiente sección. El crecimiento

poblacional, la expansión urbana y el aumento de la demanda de agua constituyen factores clave que influyen en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico.

4. Dinámica poblacional (DP)

La dinámica poblacional constituye un componente fundamental para comprender las presiones ejercidas sobre el sistema hídrico de la microcuenca del río Tena. El crecimiento de la población residente y el incremento de actividades económicas vinculadas al turismo generan una mayor demanda de agua, expansión de infraestructura y aumento en la generación de aguas residuales, influyendo directamente en el funcionamiento del sistema hidrosocial del territorio (Linton, 2010; Linton y Budds, 2014; Boelens et al., 2016).

En el caso de la ciudad de Tena, estas dinámicas se encuentran asociadas tanto al crecimiento urbano como al desarrollo del turismo de naturaleza y aventura, actividad que genera flujos temporales de población y presiones adicionales sobre los recursos hídricos locales (Espinosa et al., 2015; Rojas López, 2005 (Ecuador MinTur 2020; Ecuador CapTur Napo 2026)).

En este sentido, el análisis de la dinámica poblacional resulta clave para interpretar de manera integrada los resultados previamente obtenidos sobre estrés hídrico (IEH) y calidad del agua (CA), evidenciando cómo las transformaciones demográficas y territoriales influyen sobre la demanda hídrica y las condiciones del sistema fluvial.

A partir de este contexto, en las subsecciones siguientes se analiza, en primer lugar, la evolución de la población dentro de la microcuenca. Posteriormente, se examina la presión demográfica sobre el sistema hídrico, que influyen en la demanda de agua y en las presiones ejercidas sobre los recursos hídricos del territorio.

4.1. Evolución de la población

El análisis de la evolución poblacional dentro de la microcuenca del río Tena permite comprender cómo las dinámicas demográficas influyen en la configuración del sistema hidrosocial del territorio. La población constituye uno de los principales factores que determinan la demanda de agua, el uso del suelo y las presiones ejercidas sobre los ecosistemas fluviales, especialmente en contextos amazónicos donde las ciudades intermedias han experimentado procesos de expansión urbana y crecimiento económico asociados al turismo y a los servicios (Larrea 2021; Svampa 2019). En este sentido,

comprender la evolución de la población dentro de la microcuenca resulta fundamental para interpretar las presiones actuales y potenciales sobre el sistema hídrico.

Para este análisis se utilizaron datos anuales de población del producto WorldPop correspondientes al período 2018–2025, recortados específicamente al límite de la microcuenca del río Tena. Esta información permitió estimar la población residente dentro del área de estudio y analizar su evolución temporal mediante herramientas geoespaciales, particularmente útil en estudios a escala de unidades hidrográficas (cuencas-microcuencas), ya que permite relacionar las componentes empleadas en este análisis (Ecuador INEC 2019; Holguín et al. 2025).

La Figura 13 muestra la evolución de la población estimada dentro de la microcuenca durante el período de análisis. Los resultados muestran una tendencia sostenida de crecimiento poblacional durante el periodo 2018–2025. En 2018 la microcuenca registraba aproximadamente 11 341 habitantes, mientras que para 2025 esta cifra alcanza 12 217 habitantes, lo que representa un incremento aproximado de 876 habitantes en siete años, equivalente a un crecimiento cercano al 7,7 % en el periodo analizado.

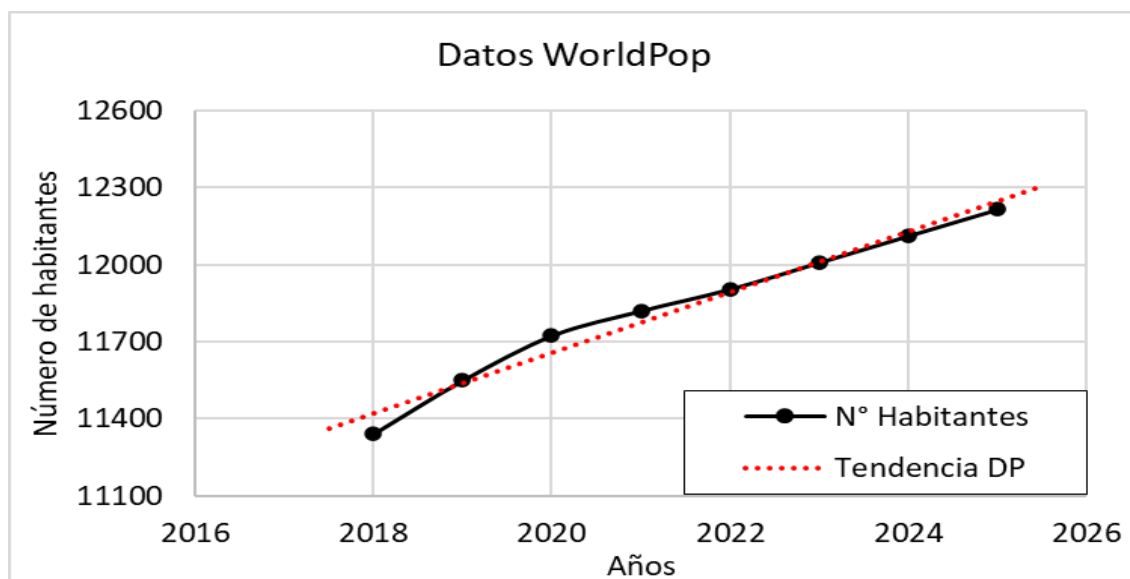


Figura 13. Evolución de la población en la microcuenca del río Tena (2018–2025)

Fuente: WorldPop (2025)

Elaboración propia

Aunque el aumento absoluto de población no es extremadamente elevado, sí refleja una tendencia gradual de expansión demográfica dentro del territorio de la microcuenca, asociada principalmente a la expansión urbana de la ciudad de Tena y al desarrollo de actividades económicas vinculadas al sector de servicios y al turismo. Este

crecimiento demográfico forma parte de las transformaciones territoriales que han caracterizado a diversas ciudades amazónicas en las últimas décadas, donde la consolidación de centros urbanos regionales ha generado una mayor concentración poblacional en torno a infraestructuras, vías de comunicación y servicios básicos. Este proceso de expansión territorial incrementa la presión sobre los sistemas de abastecimiento y saneamiento, particularmente en sectores donde la infraestructura urbana crece más rápidamente que la capacidad institucional de gestión hídrica.

Además de la población residente, es importante considerar la presencia de población flotante asociada al turismo, actividad que constituye uno de los principales motores económicos de la ciudad de Tena. Estudios previos estiman que la provincia de Napo recibe aproximadamente 83 659 turistas al año, atraídos principalmente por actividades de turismo de naturaleza y aventura (Espinosa et al. 2015). Considerando la centralidad de la ciudad de Tena como principal punto de acceso y oferta turística de la provincia, se estimó que aproximadamente el 80 % de estos visitantes se concentran en esta ciudad, lo que equivale a alrededor de 66 927 turistas anuales (Espinosa et al. 2015; Rojas López 2005; Ecuador MinTur 2020). Aunque estos visitantes no forman parte de la población residente, su presencia representa una carga adicional sobre los sistemas de abastecimiento de agua, saneamiento y gestión de residuos, especialmente en temporadas de alta afluencia turística (Rojas López 2005; Sarmiento León 2025).

Desde una perspectiva territorial, la distribución espacial de la población dentro de la microcuenca refleja una fuerte concentración en el área urbana de la ciudad de Tena y en los corredores viales que conectan los distintos sectores de la cuenca. Este patrón de ocupación del territorio puede observarse en la Figura 14, donde se presenta la distribución espacial de la población estimada. La concentración poblacional en torno a los ríos y a las áreas urbanizadas tiene implicaciones importantes para la gestión del agua, ya que aumenta la demanda de abastecimiento, la generación de aguas residuales y la presión sobre los ecosistemas fluviales (Vörösmarty et al. 2010; UNESCO 2019).

En conjunto, estos los resultados evidencian una tendencia sostenida de crecimiento poblacional y de incremento de actividades turísticas dentro de la microcuenca, factores que influyen directamente en la demanda hídrica y en las presiones sobre el sistema fluvial. En consecuencia, comprender la evolución de la población dentro del territorio resulta fundamental para interpretar las presiones que enfrenta el sistema hídrico y para contextualizar los resultados del Índice de Estrés Hídrico (IEH) y del análisis de calidad del agua (CA) presentados en las secciones anteriores. A partir de esta base demográfica,

en la siguiente subsección se analiza con mayor detalle la presión demográfica sobre el sistema hídrico, evaluando cómo el crecimiento poblacional y las actividades asociadas influyen en la demanda de agua y en las dinámicas de uso del recurso hídrico dentro de la microcuenca del río Tena.

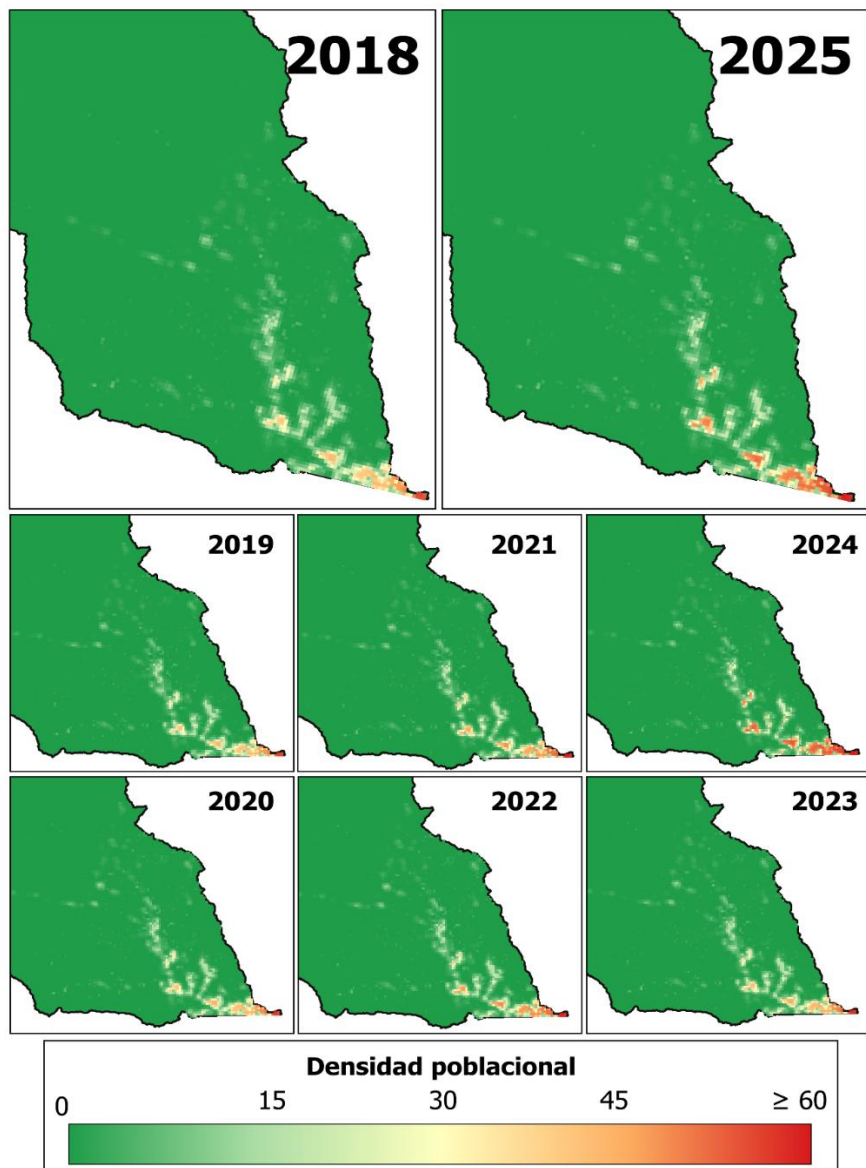


Figura 14. Distribución espacial (2018-2025) de la población en la microcuenca del río Tena.
Fuente: WorldPop (2025)
Elaboración propia

4.2. Presión demográfica sobre el sistema hídrico

La presión demográfica sobre los recursos hídricos constituye uno de los factores más relevantes para comprender las dinámicas del sistema hidrosocial en la microcuenca del río Tena. El crecimiento de la población residente, junto con la presencia de flujos turísticos significativos, genera una mayor demanda de agua para consumo doméstico,

recreativo y de servicios, lo que se traduce en un incremento en las captaciones de agua, la generación de aguas residuales y la presión sobre los ecosistemas fluviales del territorio (Vörösmarty et al. 2010; UNESCO 2019).

Los resultados del análisis demográfico muestran que, aunque la población residente dentro de la microcuenca presenta un crecimiento moderado durante el periodo 2018–2025, el territorio experimenta una presión adicional asociada a la población flotante vinculada al turismo. Como se mencionó anteriormente, se estima que aproximadamente 66.927 turistas visitan anualmente la ciudad de Tena, lo que representa un flujo poblacional considerable en relación con la población residente de la microcuenca. Esta dinámica incrementa la demanda hídrica, el uso recreativo, la generación de aguas residuales y por ende los cambios en la calidad del agua (CA) (Bain, Johnston, y Slaymaker 2020; Ecuador SENAGUA 2016) , especialmente en sectores cercanos al área urbana, principales balnearios naturales y en sectores donde la cobertura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales continúa siendo limitada (Espinosa et al. 2015; Sarmiento León 2025).

Desde una perspectiva espacial, la distribución de la población dentro de la microcuenca muestra un patrón claramente diferenciado entre las zonas altas y las zonas bajas del territorio. Tal como se observa en la Figura 14, la mayor densidad poblacional se concentra en la parte baja de la microcuenca, que son el área urbana y periurbana de la ciudad de Tena y a lo largo de los principales afluentes del río Tena. En contraste, las zonas ubicadas en la parte alta de la microcuenca, que forman parte de la RBCC, presentan una densidad poblacional prácticamente nula, lo que refleja el papel de las áreas protegidas en la conservación de los ecosistemas amazónicos y en la regulación de los procesos hidrológicos del territorio (Cuenca et al. 2019).

Este patrón espacial coincide con la dinámica observada en el análisis de cambios en el uso y gestión del suelo (US), donde las áreas con mayor densidad poblacional corresponden a sectores con mayor intervención antrópica, presencia de infraestructura urbana, expansión agrícola y desarrollo de actividades económicas. En contraste, las zonas con mayor cobertura de bosque natural, especialmente dentro de la RBCC, mantienen una baja intervención humana y, por lo tanto, una menor presión directa sobre los recursos hídricos. Esta relación evidencia cómo los procesos de ocupación del territorio influyen directamente en las presiones diferenciadas sobre los recursos hídricos del territorio (Hommes, Hoogesteger, y Boelens 2022; Boelens et al. 2016).

Considerando el cálculo previo del Índice de Estrés Hídrico (IEH), también se confirma que, a medida que crece la población, aumenta el volumen de agua requerido para abastecimiento doméstico y servicios. Desde la perspectiva de los territorios hidrosociales, estas dinámicas demográficas no solo representan un incremento cuantitativo en la demanda de agua, sino también una transformación en las relaciones entre sociedad, territorio y recursos hídricos. El crecimiento urbano, el desarrollo del turismo y la expansión de actividades productivas configuran nuevas presiones sobre los ecosistemas acuáticos y los servicios ambientales asociados al agua, generando tensiones entre el uso económico del agua, la conservación de los ecosistemas y el acceso equitativo al recurso (Linton 2010; Boelens 2015)

En conjunto, los resultados evidencian que el crecimiento poblacional y el turismo constituyen factores relevantes en las presiones actuales ejercidas sobre el sistema hídrico de la microcuenca del río Tena, especialmente en relación con la demanda de agua, la generación de aguas residuales y las transformaciones territoriales observadas durante el período de estudio.

Finalmente, el análisis desarrollado en las secciones anteriores ha permitido caracterizar los principales resultados asociados a los cuatro indicadores considerados en esta investigación: cambios en el uso y gestión del suelo (US), índice de estrés hídrico (IEH), calidad del agua (CA) y dinámica poblacional (DP). A partir de estos resultados, en la siguiente sección se presenta la integración de estos componentes para el cálculo del índice de sustentabilidad hidrosocial (ISH), con el objetivo de evaluar de manera integral el estado de sustentabilidad del sistema hidrosocial en la microcuenca del río Tena.

5. Integración de los componentes del ISH: Cálculo y resultados del índice de sustentabilidad hidrosocial (ISH)

La evaluación de la sustentabilidad hidrosocial de la microcuenca del río Tena requiere integrar las dimensiones territoriales, ambientales y sociales que influyen en el funcionamiento del sistema hídrico. Con este propósito, el Índice de Sustentabilidad Hidrosocial (ISH) articula cuatro componentes analizados previamente: uso y gestión del suelo (US), índice de estrés hídrico (IEH), calidad del agua (CA) y dinámica poblacional (DP).

La integración de estos indicadores permite evaluar de manera conjunta las transformaciones territoriales, la disponibilidad relativa del recurso hídrico, las condiciones ambientales de los sistemas fluviales y las presiones demográficas presentes

en la microcuenca durante el período 2018–2025. A partir de ello, esta sección analiza las relaciones entre los componentes del ISH, las principales presiones hidrosociales identificadas y la evolución espacio-temporal del índice en la microcuenca del río Tena. del ISH en la microcuenca del río Tena.

5.1. Relación entre US, IEH, CA y DP

La integración de los indicadores US, IEH, CA y DP representan dimensiones complementarias del sistema hidrosocial: las transformaciones territoriales, la disponibilidad relativa del recurso hídrico, las condiciones ambientales de los cuerpos de agua y las presiones demográficas asociadas a la ocupación del territorio explorada en cada uno de los apartados anteriores. Como se ha establecido metodológicamente, su análisis conjunto permite identificar cómo los procesos ecológicos y sociales se articulan dentro del ciclo hidrosocial (Linton 2010; Linton y Budds 2014)

En el caso de la microcuenca del río Tena, el indicador US mantuvo valores altos (entre 0.91 y 0.92) y estables durante todo el período analizado, reflejando la persistencia de una matriz territorial predominantemente forestal, aunque con mayores niveles de intervención antrópica en las zonas media y baja de la microcuenca. Por su parte, el índice de estrés hídrico (IEH) presentó valores elevados durante todo el periodo de estudio (0,84–0,90), indicando una relación favorable entre oferta y demanda hídrica; sin embargo, las variaciones temporales evidencian una influencia progresiva del crecimiento urbano y de las actividades económicas sobre la presión hídrica del territorio.

El indicador CA, correspondiente a la calidad del agua, muestra una variabilidad moderada durante el periodo analizado, con valores comprendidos entre 0.50 y 0.66. Las fluctuaciones observadas en la Tabla 12 evidencian la sensibilidad de los sistemas fluviales frente a las actividades humanas desarrolladas en el territorio. Factores como las descargas de aguas residuales por el limitado sistema de saneamiento de Tena, el uso recreativo de los ríos, las actividades agrícolas y la intervención en las zonas ribereñas pueden influir en la variación de este indicador, afectando gradualmente las condiciones ecológicas de los ecosistemas acuáticos (Bain, Johnston, y Slaymaker 2020).

Finalmente, el indicador DP refleja una disminución progresiva en sus valores normalizados, pasando de 1 a 0. Esta tendencia observada en la Figura 13 relaciona principalmente con el crecimiento urbano de la ciudad de Tena y con el incremento de la población flotante asociada al turismo, factores que intensifican la demanda de agua y las presiones sobre los ecosistemas fluviales de la microcuenca.

La interacción entre estos cuatro indicadores refleja la complejidad del sistema hidrosocial de la microcuenca. Mientras que la estabilidad relativa del uso del suelo y la disponibilidad hídrica contribuyen a mantener condiciones favorables para la sustentabilidad del sistema, las dinámicas demográficas y las presiones antrópicas sobre la calidad del agua evidencian procesos de transformación territorial que influyen progresivamente en el comportamiento del índice de sustentabilidad hidrosocial, lo cual va de la mano con el análisis cualitativo.

5.2. Presiones hidrosociales identificadas

El análisis conjunto de los indicadores del ISH permite identificar diversas presiones hidrosociales que influyen en la dinámica del sistema hídrico de la microcuenca del río Tena asociadas al crecimiento urbano, la expansión de actividades económicas, el turismo y los cambios en el uso del suelo. Estas presiones se originan en la interacción entre procesos naturales y actividades humanas que configuran el acceso, uso y transformación del agua dentro del territorio (Linton 2010; Linton y Budds 2014).

Una de las principales presiones corresponde a la transformación del territorio en las zonas media y baja de la microcuenca, donde se concentra la mayor parte de la población y de las actividades económicas. Aunque el indicador US muestra una estabilidad relativa a escala de microcuenca (Figuras 8 y 9), la distribución espacial de la población evidencia que las áreas cercanas a la ciudad de Tena presentan mayores niveles de intervención antrópica (Figura 14). En estos sectores, la expansión urbana y el desarrollo de infraestructura modifican progresivamente la cobertura del suelo, alterando procesos hidrológicos como la infiltración, la escorrentía superficial y el transporte de sedimentos (Foley et al. 2005; Allan 2004).

Por otra parte, aunque dentro de la microcuenca del río Tena la actividad minera identificada corresponde principalmente a minería de pétreos y presenta una extensión territorial reducida, sus efectos potenciales sobre la calidad del agua deben considerarse a nivel local, particularmente en relación con el aumento de sedimentos y alteraciones del cauce. A diferencia de otras microcuencas amazónicas afectadas por minería metálica intensiva, en el área de estudio no se identificaron evidencias de explotación minera a gran escala vinculada a metales pesados; sin embargo, este tipo de actividades sí representa una problemática relevante en sectores aguas abajo de la cuenca amazónica ecuatoriana.

Otra presión relevante se relaciona con el incremento de la demanda hídrica (Tabla 10) asociado al crecimiento poblacional (Figura 13) y al desarrollo de actividades económicas, particularmente en el área urbana de Tena. La concentración de población en la parte baja de la microcuenca incrementa la demanda de agua potable y la generación de aguas residuales, lo que puede ejercer presión sobre las fuentes de abastecimiento y sobre los sistemas de saneamiento cuya planificación territorial no puede abastecer la demanda generada. A ello se suma la presencia de una población flotante vinculada al turismo, que incrementa temporalmente la demanda de servicios asociados al agua y a su vez, el uso recreativo de los ríos puede llegar a causar afectaciones sino se realizan procesos de planificación de manejo de áreas recreativas.

Estas dinámicas también pueden influir en las condiciones de calidad del agua, Las actividades urbanas, turísticas y productivas desarrolladas en el territorio generan descargas de contaminantes o alteraciones en la integridad de los ecosistemas ribereños que afectan gradualmente la calidad del agua. Estas tendencias coinciden con los resultados obtenidos en la microcuenca del río Tena, donde las mayores presiones sobre la calidad del agua se concentran en sectores con mayor intervención urbana y actividades antrópicas (Bain, Johnston, y Slaymaker 2020; Sabando Bravo 2021; Celi Jorge et al. 2025; Carrasco 2022).

Desde la perspectiva hidrosocial, las presiones identificadas en la microcuenca reflejan la interacción entre las dinámicas territoriales, las actividades humanas y la gestión del recurso hídrico. En este contexto, la sustentabilidad del sistema depende tanto de las condiciones ecológicas como de la capacidad institucional y territorial para gestionar las presiones asociadas al crecimiento urbano, el turismo y el uso del agua en la microcuenca (Boelens et al. 2016; Boelens 2015).

5.3. Resultados del ISH: Estructura final y distribución espacio-temporal

El ISH fue calculado mediante la integración ponderada de los indicadores US, IEH, CA y DP, siguiendo la estructura metodológica presentada en el Capítulo 2. En el caso de los indicadores IEH y DP, los valores fueron invertidos durante el proceso de normalización para mantener la coherencia interpretativa del índice, de modo que valores mayores indiquen menores niveles de presión sobre el sistema y así aplicar la ecuación 13:

$$ISH_t = 0.40(CA_t) + 0.25(US_t) + 0.20(IEH_t) + 0.15(DP_t) \quad (13)$$

Como se observa en la Tabla 13, los resultados obtenidos muestran que el ISH en la microcuenca del río Tena presenta valores mayores a 0,5 durante todo el periodo de análisis (2018–2025), con valores que oscilan entre 0,65 y 0,79. El valor máximo se registra en 2019 (0.79), seguido por 2018 (0.76) y 2020 (0.75), mientras que los valores más bajos corresponden a los años 2024 y 2025 (0.65). Esto deja en evidencia que la disminución gradual del ISH no está asociada a una reducción crítica de la disponibilidad hídrica, ya que el indicador IEH mantiene valores favorables durante todo el período analizado. Por el contrario, la tendencia descendente del índice responde principalmente al incremento de la presión demográfica y a las variaciones observadas en la calidad del agua, especialmente en sectores influenciados por actividades urbanas, turísticas y productivas. Esto evidencia que las principales tensiones del sistema hidrosocial de la microcuenca no se relacionan actualmente con escasez física de agua, sino con procesos de transformación territorial y gestión ambiental.

Tabla 13
Índice de Sustentabilidad Hidrosocial calculado a partir de los componentes de estudio

Año	US	IEH	CA	DP	ISH
2018	0,924	0.990	0,50	1,00	0,76
2019	0,920	0.988	0,66	0,76	0,79
2020	0,917	0.986	0,66	0,56	0,75
2021	0,914	0.989	0,59*	0,45	0,71
2022	0,918	0.987	0,51	0,36	0,66
2023	0,919	0.987	0,58*	0,24	0,67
2024	0,921	0.984	0,58*	0,12	0,65
2025	0,917*	0.989	0,59	0,00	0,65

Elaboración propia

Nota: Los valores marcados con (*) fueron calculados mediante interpolaciones con los datos disponibles para cada componente

En términos generales, la evolución temporal del índice evidencia una tendencia gradual de disminución de la sustentabilidad hidrosocial a lo largo del periodo analizado, aunque sin alcanzar valores críticos (Figura 15). Esta tendencia se relaciona principalmente con el incremento de las presiones demográficas y con las variaciones observadas en la calidad del agua, particularmente en los sectores con mayor intervención urbana y actividades antrópicas.

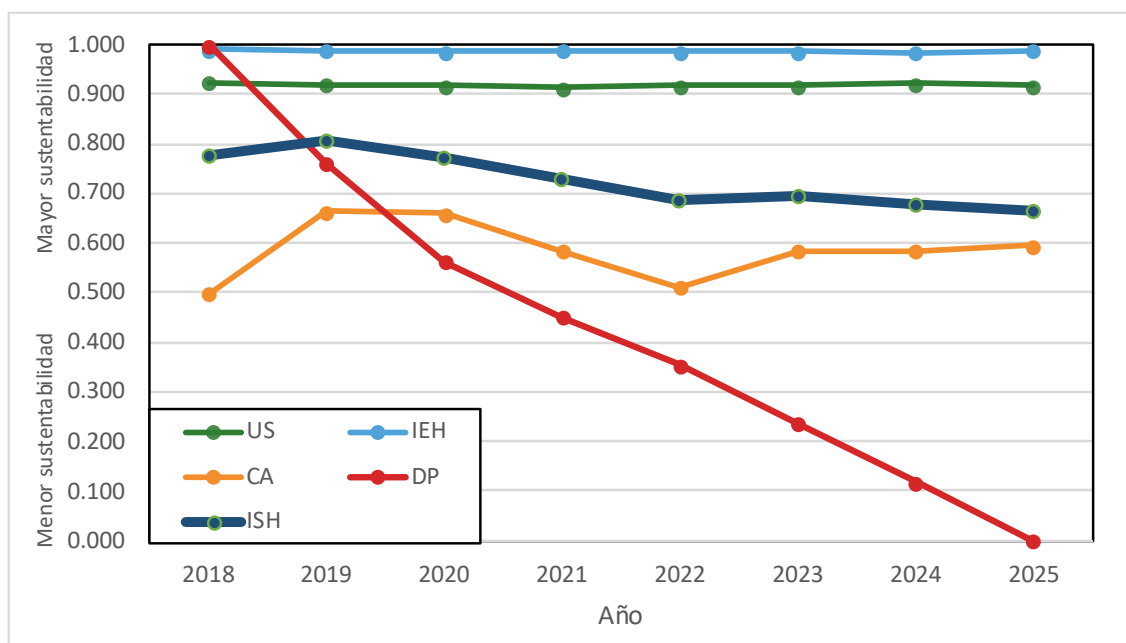


Figura 15. Evolución temporal del ISH y sus componentes (2018-2025)

Elaboración propia

El indicador US presenta una alta estabilidad durante todo el periodo, con valores cercanos a 0,92, lo que refleja que la estructura general del paisaje en la microcuenca se ha mantenido relativamente constante. Esta estabilidad está asociada, en gran medida, a la presencia de áreas de conservación en la zona alta de la microcuenca, particularmente dentro de la RBCC, que contribuye a mantener la cobertura forestal y las funciones ecosistémicas vinculadas a la regulación hidrológica del territorio. Sin embargo, en las zonas media y baja de la microcuenca se observan procesos de transformación territorial asociados a la expansión urbana y al desarrollo de actividades económicas de mayor influencia en el ISH.

El índice de estrés hídrico (IEH) también presenta valores relativamente altos durante todo el periodo analizado (0,98–0,99), indicando que la disponibilidad hídrica natural continúa siendo suficiente frente a la demanda existente. No obstante, las variaciones observadas sugieren una influencia progresiva de las dinámicas urbanas y turísticas sobre la presión hídrica del territorio.

En contraste, el indicador CA presenta una variabilidad moderada durante el periodo de estudio, con valores comprendidos entre 0,50 y 0,66. Dado que este indicador posee el mayor peso dentro de la estructura del índice, sus variaciones tienen una influencia significativa en el comportamiento del ISH. Las fluctuaciones observadas entre los distintos años evidencian la influencia de actividades antrópicas desarrolladas en el territorio. Estas variaciones reflejan las presiones asociadas a actividades urbanas,

turísticas y productivas presentes en distintos sectores de la microcuenca. Por su parte, el indicador DP refleja un incremento progresivo de la presión demográfica sobre el sistema hídrico, asociado al crecimiento urbano de la ciudad de Tena y al aumento de la población flotante vinculada al turismo.

En conjunto, los resultados del ISH evidencian que la sustentabilidad hidrosocial de la microcuenca del río Tena se sostiene actualmente en condiciones ecológicas relativamente favorables, particularmente la disponibilidad hídrica y la conservación de cobertura forestal. Sin embargo, las tendencias observadas muestran un incremento progresivo de las presiones asociadas al crecimiento urbano, las actividades turísticas y las variaciones en la calidad del agua, lo que sugiere un proceso gradual de transformación del sistema hidrosocial.

Espacialmente, el ISH presenta condiciones más favorables en las zonas altas de la microcuenca, caracterizadas por mayor cobertura forestal y menor intervención humana. En contraste, las áreas cercanas a la ciudad de Tena y a los principales ejes de desarrollo concentran mayores niveles de presión sobre el sistema hídrico, evidenciando la influencia de los patrones de ocupación y uso del territorio sobre la sustentabilidad hidrosocial. En conjunto, los resultados integrados del ISH permiten identificar tendencias de presión progresiva sobre el sistema hídrico de la microcuenca del río Tena, particularmente en los sectores con mayor intervención antrópica. La integración de los indicadores evidencia que la sustentabilidad hidrosocial del territorio depende no solo de la disponibilidad natural de agua, sino también de la capacidad de gestión territorial frente a las dinámicas urbanas, turísticas y ambientales presentes en la microcuenca.

6. Evaluación de la sustentabilidad de la microcuenca

La evaluación de la sustentabilidad de la microcuenca del río Tena se realizó mediante la integración de los resultados del Índice de Sustentabilidad Hidrosocial (ISH) y las percepciones sociales obtenidas a través de entrevistas semiestructuradas aplicadas a habitantes y actores locales vinculados con la gestión del agua dentro de la microcuenca. Este enfoque permitió contrastar los resultados cuantitativos de los componentes biofísicos y territoriales con las experiencias y problemáticas identificadas por la población en relación con el estado actual del sistema hídrico.

Los resultados del ISH evidencian que la sustentabilidad de la microcuenca presenta variaciones espaciales y temporales asociadas principalmente a las dinámicas de ocupación territorial y a las presiones ejercidas sobre el sistema hídrico. En términos

generales, se identifican sectores donde la calidad del agua se ha mantenido en condiciones aceptables, en contraste con otros donde se observan signos de deterioro vinculados a procesos de urbanización, expansión de la frontera agrícola, el incremento de actividades turísticas, expansión de áreas intervenidas cercanas al río y descargas de aguas residuales.

Estos resultados son consistentes con las dinámicas territoriales descritas para la microcuenca del río Tena, donde la distribución poblacional y la limitada cobertura de sistemas de saneamiento genera presiones directas sobre los cuerpos de agua (Ecuador GADM Tena 2025). Esta situación también se evidencia en sectores rurales de la microcuenca, particularmente en comunidades donde el crecimiento poblacional no planificado y la demanda de servicios básicos superan en ciertos casos la capacidad de la infraestructura existente (Ecuador GAD Tena 2025), generando descargas directas de aguas residuales hacia los ríos (Barrionuevo Mora 2016; Malolo et al. 2021). En este sentido, la calidad del agua refleja no solo condiciones biofísicas del sistema fluvial, sino también los efectos de las dinámicas territoriales y de las decisiones asociadas al manejo del territorio y los servicios básicos.

En contraste con los resultados cuantitativos del ISH, las entrevistas realizadas a habitantes y actores locales vinculados con la gestión del agua permitieron incorporar una interpretación territorial de las problemáticas asociadas al sistema hídrico. Los testimonios obtenidos evidencian preocupaciones relacionadas con el deterioro de los sistemas de abastecimiento, las limitaciones en saneamiento, el crecimiento urbano, el turismo y los cambios en el uso del suelo, aspectos que complementan y fortalecen la interpretación de los resultados obtenidos para la microcuenca del río Tena.

6.1. Contraste de las percepciones poblacionales de la microcuenca

Con el propósito de complementar el análisis de los indicadores hidrosociales, se realizaron entrevistas semiestructuradas a 15 habitantes de distintos sectores de la microcuenca, incluyendo las localidades de Atacapi, Alto Tena, Shitig, Muyuna, San Antonio y la ciudad de Tena. Adicionalmente, se incorporaron entrevistas a actores locales vinculados directamente con la gestión comunitaria del agua, incluyendo representantes de juntas de agua potable y líderes comunitarios de sectores rurales de la microcuenca. Si bien el tamaño de la muestra en el componente cualitativo es limitado, este tipo de estudios no busca representatividad estadística, sino profundidad en la

comprensión de las percepciones territoriales y sociales (Flick 2015) relacionadas con el recurso hídrico.

Las entrevistas abordaron cuatro temas principales descritos en la Tabla 5, relacionados con el acceso al agua potable, saneamiento y tratamiento de aguas residuales, los niveles de educación y salud vinculados al agua, y las percepciones sobre el crecimiento poblacional y cambios en el uso del suelo. Los resultados generales de las preguntas planteadas a la población se pueden observar en la Figura 16.

Las percepciones relacionadas con el acceso al agua potable presentan una valoración intermedia dentro de la escala de satisfacción (3,23), lo que evidencia que, aunque gran parte de la población considera funcional el sistema de abastecimiento, existen preocupaciones asociadas a su deterioro progresivo y a la calidad del agua distribuida. En las entrevistas realizadas a actores comunitarios y representantes de juntas de agua se identificaron problemas relacionados con la falta de mantenimiento, el aumento de usuarios en los sistemas comunitarios y la presencia de agua turbia durante temporadas lluviosas. Estas percepciones coinciden con los resultados obtenidos en el análisis de demanda hídrica y reflejan las presiones que el crecimiento poblacional y la expansión territorial ejercen sobre la infraestructura de abastecimiento dentro de la microcuenca.

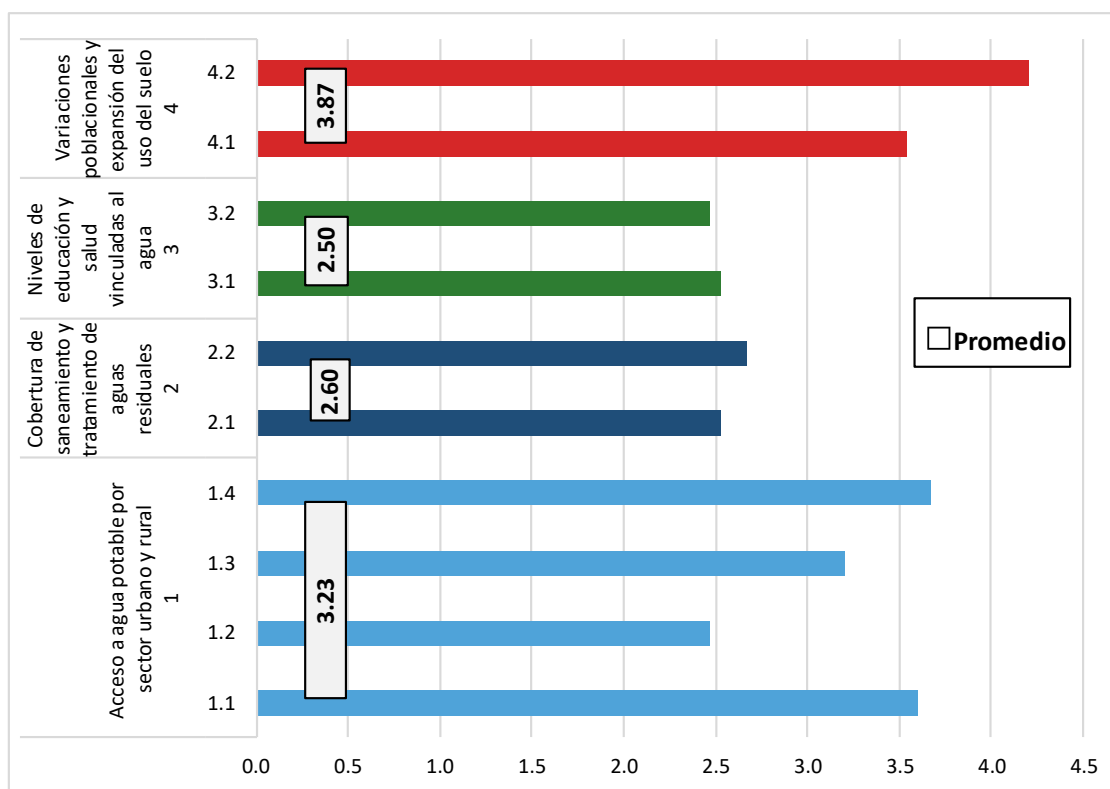


Figura 16. Percepción promedio de la población con respecto al recurso hídrico
Elaboración propia

Asimismo, las percepciones relacionadas con el crecimiento poblacional y el cambio de uso del suelo coinciden con los patrones observados en el análisis cuantitativo (DP y US) con una puntuación de 3,85. Particularmente, en lo que respecta a la expansión urbana y la reducción de áreas naturales, se evidencian que los cambios en el uso del suelo van acorde al crecimiento poblacional y uso de espacios recreativos y de urbanización que históricamente se han asentado cerca del río (Ecuador GADM Tena 2025, 28; Ecuador GADP Muyuna 2023, sec. “La Parroquia-1.8 Agua”). Los entrevistados señalaron que el crecimiento urbano, el incremento del turismo y la expansión de asentamientos han generado una mayor ocupación de sectores cercanos a los ríos y una presión creciente sobre los sistemas de abastecimiento de agua. En particular, actores vinculados a las juntas comunitarias de agua destacaron el aumento progresivo de usuarios en los sistemas de captación, asociado tanto al crecimiento poblacional como a la presencia de estudiantes y visitantes temporales. Estas percepciones complementan los resultados cuantitativos del ISH y evidencian cómo las transformaciones territoriales influyen directamente en la dinámica hidrosocial de la microcuenca.

Asimismo, las entrevistas también evidencian preocupaciones relacionadas con el saneamiento y el manejo de aguas residuales, componente que presentó una de las valoraciones más bajas dentro de las percepciones recopiladas. Aunque algunos entrevistados señalaron la existencia de fosas sépticas o conexión a sistemas de tratamiento, gran parte reconoció que las aguas residuales continúan descargándose directa o indirectamente hacia los ríos, especialmente en sectores rurales de la microcuenca. Estas percepciones coinciden con los patrones observados en el análisis espacial, lo que refuerza la validez de la información, donde se observa que los sistemas de saneamiento no cubren el total de áreas pobladas, en especial en comunidades de la parte alta de la microcuenca como Atacapi y Alto Tena, constituyendo una de las principales presiones sobre la calidad del agua del sistema fluvial (Kvale 2010; Creswell y Plano Clark 2018, 40) (ver Anexo 1).

Finalmente, el componente relacionado con educación y conocimiento ambiental presentó una valoración intermedia-baja dentro de las entrevistas realizadas. En términos generales, la población reconoce la existencia de problemáticas asociadas al río Tena, principalmente relacionadas con contaminación, crecimiento urbano, turismo y manejo inadecuado de residuos. Sin embargo, la participación en procesos formales de educación ambiental o gestión del agua continúa siendo limitada en gran parte de los entrevistados. En contraste, los actores comunitarios vinculados a juntas de agua y organizaciones

locales demostraron un mayor conocimiento sobre las amenazas que enfrenta la microcuenca, identificando problemáticas como el incremento de aguas turbias durante épocas lluviosas, presión turística, minería de materiales pétreos y necesidad de reforestación en sectores ribereños. Estos resultados evidencian diferencias en los niveles de apropiación y conocimiento territorial sobre el sistema hídrico, y sugieren la necesidad de fortalecer procesos participativos y de educación ambiental orientados a la gestión sostenible del agua en la microcuenca.

6.2. Interpretación final de los resultados

La integración de resultados cuantitativos y cualitativos evidencia que la sustentabilidad de la microcuenca del río Tena responde a interacciones entre las condiciones ecológicas del sistema fluvial y las dinámicas sociales y territoriales presentes en el territorio. En este sentido, los resultados muestran que las variaciones observadas en la calidad del agua, la presión demográfica y las transformaciones del territorio no ocurren de manera aislada, sino como parte de procesos hidrosociales donde el uso del agua, la infraestructura y las formas de ocupación territorial influyen directamente en el funcionamiento del sistema hídrico.

Las dimensiones del ciclo hidrosocial abarcadas en esta tesis de investigación evidencian que la sustentabilidad de la microcuenca del río Tena se puede interpretar a través de 4 dimensiones:

- En la dimensión material y biofísica, los resultados muestran que, a pesar de la alta pluviosidad y abundancia de caudales, la calidad del agua presenta un deterioro progresivo asociado a crecimiento urbano, actividades recreativas desarrolladas en sitios turísticos, que junto con el incremento de la temperatura en los cuerpos de agua y la contaminación por descargas residuales y presiones extractivas de material pétreo. Estas presiones reflejan cómo las transformaciones territoriales y las actividades humanas pueden modificar progresivamente las condiciones ecológicas del sistema fluvial, incluso en territorios amazónicos caracterizados por abundancia de agua que a su vez son influenciados por los efectos del cambio climático estudiados en la región (Larrea 2021, 27; Encalada et al. 2024, 10).
- La situación anterior, se articula directamente con la dimensión tecnológica e infraestructural, donde la limitada cobertura de alcantarillado (47 %) condiciona prácticas de descarga directa hacia los ríos, evidenciando una

brecha estructural en el acceso a servicios básicos. En este contexto, los proyectos de ampliación de sistemas de saneamiento y “agua segura” emergen como respuestas institucionales necesarias, aunque aún insuficientes frente a la magnitud del problema (Ecuador GAD Tena 2023, art. 1).

- Por su parte, las dimensiones sociales, política, cultural y territorial permiten comprender cómo estas condiciones materiales se traducen en conflictos, prácticas y configuraciones espaciales específicas. La contaminación del agua genera tensiones entre actores aguas arriba y aguas abajo, afectando tanto el consumo como los usos recreativos del río, mientras que la gestión institucional enfrenta desafíos asociados a la expansión urbana, la minería de áridos y el turismo no regulado. A nivel cultural, el agua se mantiene como eje articulador de la vida comunitaria, especialmente en la identidad Kichwa, donde prácticas como la chacra y el uso de balnearios reflejan una relación histórica y simbólica con el río (Ecuador GADP Muyuna 2023, sec. “Turismo-Costumbres y Tradiciones”).
- Finalmente, la dimensión territorial evidencia que la configuración actual de la microcuenca responde tanto a procesos históricos de ocupación vinculados a los ríos como a dinámicas recientes de expansión urbana y desarrollo turístico. Estas transformaciones han generado una concentración de población e infraestructura en determinados sectores de la cuenca, configurando patrones espaciales diferenciados de presión sobre el sistema hídrico.

En conjunto, estas dimensiones demuestran que las variaciones en la calidad del agua, observadas en el periodo 2018–2025, no solo reflejan cambios en parámetros físico-químicos vinculadas únicamente a presiones antropogénicas, sino que constituyen una expresión integrada entre procesos biofísicos y dinámicas territoriales asociadas al crecimiento urbano, las actividades económicas y las formas de uso y significado del agua en el territorio. La expansión de áreas intervenidas, la falta de tratamiento adecuado de aguas residuales y la modificación de ecosistemas ribereños generan efectos acumulativos que influyen progresivamente en las condiciones del sistema fluvial y en la sustentabilidad hidrosocial de la microcuenca.

En este contexto, la microcuenca del río Tena puede ser interpretada como un territorio hidrosocial, en el cual los flujos de agua, las infraestructuras, las prácticas sociales y las dinámicas territoriales se articulan de manera compleja (Boelens 2015; Boelens et al. 2016). Si bien el presente estudio no profundiza en el análisis de relaciones

de poder, sí evidencia cómo las condiciones del agua y su percepción varían en función del contexto territorial, reflejando que las condiciones de acceso, uso y percepción del recurso hídrico varían entre los distintos sectores de la microcuenca, particularmente entre las zonas urbanas y rurales, mostrando cómo las dinámicas territoriales influyen directamente en la sustentabilidad del sistema hídrico.

Finalmente, este enfoque integrado permite responder a la pregunta de investigación, al demostrar que las variaciones en la calidad del agua de la microcuenca del río Tena se encuentran asociadas a procesos de transformación territorial y presión antrópica vinculados al crecimiento poblacional, la expansión urbana, las limitaciones en saneamiento y los cambios en el uso del suelo. Aunque la microcuenca mantiene condiciones relativamente favorables de disponibilidad hídrica y cobertura forestal, las tendencias identificadas muestran una disminución progresiva de la sustentabilidad hidrosocial durante el periodo 2018–2025. En este sentido, la investigación demuestra que la calidad del agua constituye un indicador sensible para interpretar las interacciones entre sociedad, territorio y recursos hídricos dentro del sistema hidrosocial.

Conclusiones

La microcuenca del río Tena, analizada como un territorio hidrosocial, evidencia que las variaciones en la calidad del agua reflejan las transformaciones territoriales y las presiones antropogénicas asociadas al crecimiento urbano y a los cambios en el uso del suelo en la ciudad de Tena durante el periodo 2018–2025. Desde esta perspectiva, la calidad del agua se confirma como un indicador clave para comprender la relación entre los procesos socioambientales y la sustentabilidad de la microcuenca. Los resultados obtenidos permiten determinar que las variaciones observadas en el sistema hídrico están estrechamente vinculadas con las formas de ocupación y uso del territorio, aportando evidencia empírica sobre cómo estas dinámicas influyen en la sustentabilidad de los sistemas hídricos amazónicos.

En relación con el primer objetivo específico, los resultados evidencian que este territorio ha experimentado transformaciones graduales entre 2018 y 2025 vinculadas principalmente a la expansión urbana y a la intervención progresiva de las coberturas naturales en sectores cercanos a la ciudad de Tena. Estas dinámicas territoriales se reflejan en variaciones espaciales y temporales de calidad del agua, particularmente en los sectores más cercanos a la zona urbana y a áreas con mayor intervención antrópica. El análisis conjunto de estas variables permite identificar patrones territoriales que muestran cómo los procesos de urbanización y cambio en el uso del suelo influyen en la variación de las condiciones ambientales de la microcuenca.

Con respecto al segundo objetivo específico, los resultados evidencian una relación consistente entre estas variables. Las áreas que presentan mayores niveles de transformación del uso del suelo y mayor concentración poblacional muestran también variaciones en los indicadores de calidad del agua (CA-Mala), lo que sugiere que las presiones antrópicas ejercen una influencia directa sobre las condiciones del recurso hídrico. Este comportamiento confirma que la calidad del agua puede interpretarse como una expresión territorial de procesos socioambientales más amplios, en los que las dinámicas de ocupación del territorio modifican las características hidrológicas y los procesos de contaminación difusa en la cuenca.

Por último, en relación con el tercer objetivo específico, orientado a evaluar la sustentabilidad de la microcuenca del río Tena a partir de los cambios identificados en la

calidad del agua, el uso del suelo y la población, los resultados del índice de sustentabilidad hidrosocial (ISH) muestran que la sustentabilidad del sistema hídrico está condicionada por la interacción entre factores ambientales y presiones socio-territoriales. En este sentido, la evaluación realizada evidencia que la sustentabilidad de la microcuenca depende tanto de la conservación de las condiciones ecológicas del sistema fluvial como de la forma en que el territorio es ocupado y gestionado por las actividades humanas, así como también en las relaciones de poder que determinan cómo se distribuye el recurso. Este resultado reafirma la importancia de comprender las microcuencas amazónicas como territorios hidrosociales, donde las dinámicas urbanas, demográficas y territoriales influyen directamente en la calidad y disponibilidad del agua.

Finalmente, entre los aportes principales de esta investigación se destaca la integración de enfoques hidrológicos y socioambientales para analizar la sustentabilidad de una microcuenca amazónica a partir de la calidad del agua. La aplicación del índice de sustentabilidad hidrosocial permitió sintetizar información ambiental y territorial para evaluar las condiciones del sistema hídrico en el periodo de estudio, aportando una herramienta metodológica útil para el análisis de cuencas en contextos amazónicos. No obstante, el estudio presenta limitaciones relacionadas principalmente con la disponibilidad y resolución temporal de algunos datos ambientales y socioeconómicos, así como con la escala espacial del análisis y el contraste de las percepciones sociales que en futuras investigaciones puede ser más amplio. Estas limitaciones abren líneas futuras de investigación, como la incorporación de series temporales más extensas de calidad del agua, el análisis de variables socioeconómicas adicionales y el desarrollo de estudios comparativos en otras microcuencas amazónicas que permitan profundizar en la comprensión de las relaciones entre calidad del agua, territorio y sustentabilidad en sistemas socio hidrológicos.

Obras citadas

- Aboah, Michael, y Michael K. Miyittah. 2022. “Estimating Global Water, Sanitation, and Hygiene Levels and Related Risks on Human Health, Using Global Indicators Data from 1990 to 2020”. *Journal of Water and Health* 20 (7): 1091–101. doi:10.2166/wh.2022.065.
- Alba, Rossella, Laura Betancur Alarcon, Masiel Pereira Prado, Ursula Jaramillo Villa, y Cesar Enrique Ortiz – Guerrero. 2025. “Hydrosocial Territories Research: An Overview”. *WIREs Water* 12 (3): 1–12. doi:10.1002/wat2.70023.
- Albert, James S., Ana C. Carnaval, Suzette G. A. Flantua, Lúcia G. Lohmann, Camila C. Ribas, Douglas Riff, Juan D. Carrillo, Yin Fan, Jorge Figueiredo, Juan Guayasamin, Carina Hoorn, Gustavo H. de Melo, Nathália Nascimento, Carlos A. Quesada, Carmen Ulloa, Pedro Val, Julia Arieira, Andrea Encalada, y Carlos A. Nobre. 2023. “Human Impacts Outpace Natural Processes in the Amazon”. *Science* 379 (6630): 1–9. doi:10.1126/science.abo5003.
- Allan, J. David. 2004. “Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems”. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35 (1): 257–84. doi:10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122.
- Amorocho-Daza, H., P. Van Der Zaag, y J. Sušnik. 2023. “Access to Water-Related Services Strongly Modulates Human Development”. *Earth’s Future* 11 (4): 1–19. doi:10.1029/2022EF003364.
- Arellano-Barriga, Alfonso Patricio, y Héctor Andrés Noboa-Padilla. 2024. “Consumos de agua potable en los sectores públicos, educativos y de salud en la ciudad de Tena”. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12777>.
- Arraut, Josefina Moraes, Carlos Nobre, Henrique M. J. Barbosa, Guillermo Obregon, y José Marengo. 2012. “Aerial Rivers and Lakes: Looking at Large-Scale Moisture Transport and Its Relation to Amazonia and to Subtropical Rainfall in South America”. *Journal of Climate* 25 (2): 543–56. doi:10.1175/2011JCLI4189.1.
- Bain, Robert, Rick Johnston, y Tom Slaymaker. 2020. “Drinking Water Quality and the SDGs”. *Npj Clean Water* 3 (1): 1–3. doi:10.1038/s41545-020-00085-z.

- Barrionuevo Mora, María De Los Ángeles. 2016. “La preocupación por la naturaleza, ¿un proceso natural para la política pública? Cómo promover que los temas vinculados con el desarrollo sostenible sean considerados en las agendas ambientales de las ciudades”. *Opera*, n.º 19 (noviembre): 35–53. doi:10.18601/16578651.n19.04.
- Bilalova, Shahana, Jens Newig, Laurent-Charles Tremblay-Lévesque, Julienne Roux, Colin Herron, y Stuart Crane. 2023. “Pathways to Water Sustainability? A Global Study Assessing the Benefits of Integrated Water Resources Management”. *SSRN Electronic Journal* 343 (118179): 1–10. doi:10.1016/j.jenvman.2023.118179.
- Boelens, Rutgerd. 2015. *Water Justice in Latin America: The Politics of Difference, Equality, and Indifference*. Ámsterdam: Universiteit van Amsterdam.
- Boelens, Rutgerd, Jaime Hoogesteger, Erik Swyngedouw, Jeroen Vos, y Philippus Wester. 2016. “Hydrosocial Territories: A Political Ecology Perspective”. *Water International* 41 (1): 1–14. doi:10.1080/02508060.2016.1134898.
- Bondarenko, Maksym, Rhorom Priyatikanto, Natalia Tejedor Garavito, Wenbin Zhang, Tom McKeen, Alexander Cunningham, Thea Woods, Jason Hilton, Duygu Cihan, Borys Nosatiuk, Thomas Brinkhoff, Andrew Tatem, y Alessandro Sorichetta. 2025. “Constrained Estimates of 2015-2030 Total Number of People per Grid Square at a Resolution of 3 Arc (Approximately 100m at the Equator) R2025A Version V1”. *University of Southampton*. Accedido el 25 de febrero de 2026. <https://hub.worldpop.org/geodata/listing?id=135>.
- Bossel, Hartmut. 1999. *Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications; a Report to the Balaton Group*. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development.
- Budds, Jessica. 2012. “La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez: un análisis del ciclo hidrosocial del valle del río La Ligua, Chile”. *Revista de geografía Norte Grande*, n.º 52 (septiembre): 167–84. doi:10.4067/S0718-34022012000200010.
- Capparelli, Mariana Velloso, Gabriel Massaine Moulatlet, Denis Moledo De Souza Abessa, Oscar Lucas-Solis, Bryan Rosero, Emily Galarza, Damian Tuba, Natalia Carpintero, Valeria Ochoa-Herrera, y Isabel Cipriani-Avila. 2020. “An Integrative Approach to Identify the Impacts of Multiple Metal Contamination Sources on the Eastern Andean Foothills of the Ecuadorian Amazonia”. *Science of The Total Environment* 709 (136088): 1–28. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.136088.

- Carpenter, S. R., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley, y V. H. Smith. 1998. "Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorous and Nitrogen". *Ecological Applications* 8 (3): 559–68. doi:10.1890/1051-0761(1998)008%5B0559:NPOSWW%5D2.0.CO;2.
- Carrasco, Luis Carlos. 2022. "El ciclo integral del agua urbana: Una evaluación preliminar del metabolismo hídrico en la ciudad de Tena, Amazonía ecuatoriana". Tesis de pregrado, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Tena. https://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/bitstream/RD_IKIAM/712/1/TT-H-IKIAM-000015.pdf.
- Cazar Baquero, Diego. 2026. "Tena, la pequeña ciudad amazónica de Ecuador que se calienta a medida que la minería se expande". *El Clip*. 17 de junio. <https://www.elclip.org/tena-la-pequena-ciudad-amazonica-de-ecuador-que-se-calienta-a-medida-que-la-mineria-se-expande/>.
- CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. "Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life". *Canadian Council of Ministers of the Environment*. Accedido el 13 de febrero. <https://ccme.ca/en/resources/water-aquatic-life>.
- . 2005. "Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Water Uses". *Canadian Council of Ministers of the Environmental*. Accedido el 13 de febrero. <https://ccme.ca/en/resources/water-agriculture>.
- Celi, Jorge E. 2005. "The Vulnerability of the Aquatic Systems of the Upper Napo River Basin (Ecuadorian Amazon) to Human Activities". Tesis de maestría, Universidad Internacional de Florida, Miami. doi:10.13140/RG.2.1.5190.0561.
- Celi Jorge, Gabriel Gaona, Byron Maza, Marcela Cabrera, Sebastián Araujo, Santiago Balcázar, Hessel Asbjornsen, Daniel Illiapa, Alexander Gualli, Sydney Vera, y Karina Olalla. 2025. "Monitoreo Ecohidrológico para la Sostenibilidad de la Cuenca Amazónica: El Observatorio Ecohidrológico de Largo Plazo de la cuenca del Río Tena, Amazonía ecuatoriana". *III Conferencia por La Amazonía Que Queremos*. Accedido el 4 de febrero. <https://www.usfq.edu.ec/sites/default/files/2025-04/spa-15-danielillapa.pdf?itok=yddZiXBIuk>.
- Crespo, Daniel, Jose Albiac, Ariel Dinar, Encarna Esteban, y Taher Kahil. 2022. "Integrating Ecosystem Benefits for Sustainable Water Allocation in

- Hydroeconomic Modeling”. Editado por Zaher Mundher Yaseen. *PLOS ONE* 17 (5): 1–23. doi:10.1371/journal.pone.0267439.
- Creswell, John W., y Vicki L. Plano Clark. 2018. *Designing and conducting mixed methods research*. Tercera edición. Los Angeles: SAGE.
- Cuenca, Pablo, Maria Penuela, Luis Maisincho, Jorge Celi, Jenny Gonzales, y Rusbel Chapalbay. 2019. *Hacia un manejo adaptativo de la Reserva Biológica Colonso Chalupas y su zona de amortiguamiento: Sistematización de la aplicación de la metodología Manejo Adaptativo de Riesgo y Vulnerabilidad en Sitios de Conservación (MARISCO)*. Quito: GIZ.
- Da Mata, Mayline Menezes, Adriana Sañudo, Hugo Melgar-Quíñonez, Mauro Eduardo Del Grossi, y Maria Angélica Tavares De Medeiros. 2025. “Household Water Insecurity in the Western Amazon, Amazonas, Brazil: A Preliminary Approach”. *Water* 17 (15): 1–12. doi:10.3390/w17152253.
- Del Pozo Vallejo, Rolando. 2010. “Conflictos socio ambientales en las áreas de influencia del campo Libertador, provocados por la extracción petrolera en la filial Petroproducción en la región amazónica ecuatoriana”. Tesis de maestría, FLACSO, Quito. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstreams/ceb1152c-ac1c-4286-b908-e039beab7b2a/download>. <http://hdl.handle.net/10469/5383>.
- DeLanda, Manuel. 2019. *Assemblage Theory and Social Complexity*. Nueva York: Continuum.
- https://www.researchgate.net/publication/334714933_A_New_Philosophy_of_Society_Assemblage_Theory_and_Social_Complexity.
- Deleuze, Gilles, y Felix Guattari. 1989. “A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia”. *Journal of Interdisciplinary History* 19 (4): 657–59. doi:doi.org/10.2307/203963.
- Dingman, S. Lawrence. 2015. *Physical Hydrology*. Tercera edición. Illinois: Waveland Press, Inc.
- Ecuador ARCSA. 2026. “Arcsa activa controles sanitarios por inundaciones en Tena – Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria”. *Agencia de Regulación, Control y vigilancia Sanitaria*. Accedido el 21 de febrero. <https://www.controlsanitario.gob.ec/arcsa-activa-controles-sanitarios-por-inundaciones-en-tena/>.
- Ecuador CapTur Napo. 2026. “Información turística”. *Cámara Provincial de Turismo de Napo*. Accedido el 22 de enero. <https://www.capturnapo.com/turismo/>.

- Ecuador CTEA, Consejo de Planificación y Desarrollo de la Circunscripción Territorial Especial Amazónica. 2022. *Plan Integral para la Amazonía 2021 - 2035*. Registro Oficial Segundo Suplemento 28. Puyo: Secretaría Técnica de la Circunscripción Territorial Especial Amazónica. https://www.secretariadelamazonia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/09/PIA_final-Digital-.pdf.
- Ecuador GAD Tena. 2023. Ordenanza Municipal: Resolución. No. 028 -SG-2023 "*Autorización para postulación de proyectos de agua segura y alcantarillado*". Registro Oficial Edición Especial N.º 585, 28 de agosto.
- . 2025. Ordenanza Municipal No. 131-2025-GADMT: *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) y del plan de uso y gestión de suelo (PUGS) para el periodo 2023 - 2027*. Registro Oficial Edición Especial 585, 12 de septiembre.
- . 2025. *Plan de gestión ambiental del cantón Tena 2025- 2035*. Tena: Secretaría de Gestión Ambiental. <https://tena.gob.ec/TRANSPARENCIA/PDYOT/plandegestionambientalcantontena.pdf>.
- Ecuador GADP Muyuna. 2023. "Página Oficial del GAD Muyuna". *GAD Parroquial de Muyuna*. Accedido el 2 de marzo. <https://gadprmuyuna.gob.ec/napo/>.
- Ecuador INEC. 2019. "Indicadores ODS Agua, Saneamiento e Higiene". *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Accedido el 21 de diciembre. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/indicadores-ods-agua-saneamiento-e-higiene/>.
- . 2022. "Censo Ecuador". *App Censo Ecuador*. Accedido el 15 de marzo. <https://cubos.inec.gob.ec/AppCensoEcuador/>.
- Ecuador INEC, Asociación de Municipalidades del Ecuador AME, Agencia de Regulación y Control del Agua ARCA, y Banco de Desarrollo del Ecuador BDE. 2024. "Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales – Gestión de Agua Potable y Saneamiento 2023". Documento metodológico. Quito. Unidad de Gestión de Estadistas Agropecuarias y Ambientales basadas en Registros Administrativos. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios/2023/Agua_potable_alcantarillado/Documento_Metodologico_APA_2023_ACT2.pdf.

- Ecuador MAE. 2015. Acuerdo Ministerial No. 097-A. Registro Oficial N.º 38, 4 de noviembre.
- . 2016. *Estrategia Nacional de Biodiversidad 2015-2030*. vol. 1. Quito: Indigo480.
- . MinTur. 2020. “Tena, una joya de incomparable belleza en la amazonía”. Informativa. *Turismo Ecuador*. 17 de noviembre. <https://www.turismo.gob.ec/tenauna-joya-de-incomparable-belleza-en-la-amazonia/>.
- . SENAGUA. 2016. *Estrategia Nacional de Calidad del Agua (ENCA) 2016-2023*. Quito: Secretaría del Agua. https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf.
- Encalada, Andrea, Adalberto L. Val, Simone Athayde, Marcia Macedo, Miriam Marmontel, Jhan-Carlo Espinoza, Guido Miranda, Maria Tereza Fernandez Piedade, Tiago Da Mota E Silva, y Julia Arieira. 2024. "Policy Brief: Conserving the Amazon's Freshwater Ecosystems' Health and Connectivity". *Sustainable Development Solutions Network (SDSN)*. s. f. doi:10.55161/VIDE5506.
- Espinosa, Denisse, Fernando Herrera, Ángela Lapo, y Luis Pérez. 2015. “El potencial de Tena como destino de turismo de aventura”. *Siembra* 2 (1): 95–102. doi:10.29166/siembra.v2i1.1442.
- Espinoza, Jhan Carlo, Josyane Ronchail, Waldo Lavado, Gerard Cochonneau, Eurides De Oliveira, Rodrigo Pombosa, Philippe Vauchel, y Jean Loup Guyot. 2010. “Variabilidad espacio-temporal de las lluvias en la cuenca amazónica y su relación con la variabilidad hidrológica regional: un enfoque particular sobre la región andina”. *Revista Peruana GEO- Atmosférica RPGA* 2 (32): 99–130.
- Eugênio, Rebeca Medeiros de Andrade, Victor Pellet, Stéphane Calmant, Marcos Heil Costa, Leonardo Laipelt, Jefferson Ferreira-Ferreira, Gabriel Medeiros Abrahão, et al. 2025. *Hidrología de la Amazonia vista desde el espacio: Avances científicos y desafíos futuros*. Puerto Alegre: ABRHidro. https://www.researchgate.net/publication/392079682_Hidrologia_de_la_Amazonia_vista_desde_el_espacio_Avances_cientificos_y_desafios_futuros#fullTextFileContent.
- FAO. 1996. “Necesidades de alimentos y crecimiento de la población”. En *Necesidades de alimentos y crecimiento de la población*, 1:1–5. Roma: Organización de las

- Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/4/w2612s/w2612s04a.htm>.
- Finer, Matt, Clinton N. Jenkins, Stuart L. Pimm, Brian Keane, y Carl Ross. 2008. “Oil and Gas Projects in the Western Amazon: Threats to Wilderness, Biodiversity, and Indigenous Peoples”. *PLoS ONE* 3 (8): 1–9. doi:10.1371/journal.pone.0002932.
- Flick, Uwe. 2015. *Introducing research methodology: a beginner's guide to doing a research project*. Segunda edición. California: SAGE.
- Foley, Jonathan A., Ruth DeFries, Gregory P. Asner, Carol Barford, Gordon Bonan, Stephen R. Carpenter, F. Stuart Chapin, et al. 2005. “Global Consequences of Land Use”. *Science* 309 (5734): 570–74. doi:10.1126/science.1111772.
- Fontaine, Guillaume. 2003. *El precio del petróleo: conflictos socio-ambientales y gobernabilidad en la región amazónica*. Quito: FLACSO Ecuador/ IFEA / Abya-Yala. <http://hdl.handle.net/10469/20912>.
- Freire-Chafla, Cristian Marcelo. 2016. “Optimización del proceso de potabilización de agua en la planta de tratamiento Colonso: Tena”. Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/3f77c5ed-735b-4cbb-8d00-35a189b3d7c7>.
- Galárraga Sánchez, Remigio H. 2004. “Hidrored - Estado de los Recursos Hídricos en Ecuador - Bases de Datos.” *HidroRed*. 26 de marzo. <http://tierra.rediris.es/hidrored/basededatos/docu1.html>.
- Galarza, Emily, Marcela Cabrera, Rodrigo Espinosa, Edgar Espitia, Gabriel M. Moulatlet, y Mariana V. Capparelli. 2021. “Assessing the Quality of Amazon Aquatic Ecosystems with Multiple Lines of Evidence: The Case of the Northeast Andean Foothills of Ecuador”. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 107 (1): 52–61. doi:10.1007/s00128-020-03089-0.
- Gandy, Matthew. 2004. “Rethinking Urban Metabolism: Water, Space and the Modern City”. *City* 8 (3): 363–79. doi:10.1080/1360481042000313509.
- Garriga, Ricard Giné, y Agustí Pérez Foguet. 2010. “Improved Method to Calculate a Water Poverty Index at Local Scale”. *Journal of Environmental Engineering* 136 (11): 1287–98. doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000255.
- Gomez, Mabel, Jordi Perdiguerro, y Alex Sanz. 2019. “Socioeconomic Factors Affecting Water Access in Rural Areas of Low and Middle Income Countries”. *Water* 11 (202): 1–21. doi:10.3390/w11020202.

- Grandez-Piña, Zet, Daniela Alvear, Hugo Shiguango, Rodrigo Espinoza, y Marcela Cabrera. 2022. “Evaluación de La Calidad de Agua Mediante Parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos Entre Cuerpos de Agua, de La Cuenca Media y Baja Del Río Tena”. *Revista de Investigación Talentos*. 9 (1): 45–60. <https://es.scribd.com/document/699157754/EVALUACION-DE-LA-CALIDAD-DE-AGUA-MEDIANTE-PARAMETROS-FISICOQUIMICOS-Y-MICROBIOLOGICOS-ENTRE-CUERPOS-DE-AGUA-DE-LA-CUENCA-MEDIA-Y-BAJA-DEL-RIO-TENA>.
- Guyot, Jean Loup, Nore Arevalo, Elisa Armijos, Marie Paule Bonnet, Luc Bourrel, Héctor Calle, Stéphane Calmant, Jorge Carranza, Gérard Cochoneaum, Alain Crave, Eurides de Oliveira, Jhan Carlo Espinoza, Raúl Espinoza, Naziano Filosola, Pascal Fraizy, Oscar Fuertes, Nicolás Grillot, y Christian Iza. 2012. “Hydrology and Sediment Transport in the Amazon Basin, from the Andes to the Ocean”. Ponencia presentada en el Annual Symposium on Tropical Rivers, 11 y 12 de agosto. Iquitos https://www.researchgate.net/publication/271966694_Hydrology_and_sediment_transport_in_the_Amazon_basin_from_the_Andes_to_the_Ocean.
- Hofstede, Robert, Juan Calles, Víctor López, Rocío Polanco, Fidel Torres, Janett Ulloa, y Adriana Vásquez. 2014. *Los páramos andinos: ¿Qué sabemos?: Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. Quito: UICN. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-025.pdf>.
- Holguín, Wagner, Cristina Aguilar, Katherine Terán, Fabricio Garcés, Cristina Cabrera, y Stephany Cevallos. 2025. “Documento de Bases Teóricas de Algoritmo (ATBD) MapBiomass Ecuador Colección 3.0, Apéndice Ecuador”. *MapBiomass*. Octubre. <https://ecuador.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/7/2025/10/ATBD-Ecuador-Coleccion-3.0-ES.pdf>.
- Hommes, Lena, Jaime Hoogesteger, y Rutgerd Boelens. 2022. “(Re)Making Hydrosocial Territories: Materializing and Contesting Imaginaries and Subjectivities through Hydraulic Infrastructure”. *Political Geography* 97 (102698): 1–10. doi:10.1016/j.polgeo.2022.102698.
- Huang, Zhongwei, Mohamad Hejazi, Xinya Li, Qiuhong Tang, Chris Vernon, Guoyong Leng, Yaling Liu, Sean C. Turner, y Tianyi Zhang. 2018. “Reconstruction of Global Gridded Monthly Sectoral Water Withdrawals for 1971–2010 and Analysis

- of Their Spatiotemporal Patterns”. *Hydrology and Earth System Sciences* 22 (4): 2117–33. doi:10.5194/hess-22-2117-2018.
- Humanitarians Worldwide. 2011. “Inundaciones Afectan a Barrios de Parte Baja de Tena - Ecuador. *Reliefweb*. 25 de septiembre. <https://reliefweb.int/report/ecuador/inundaciones-afectan-barrios-de-parte-baja-de-tena>.
- Hunt, Dexter V. L., D. Rachel Lombardi, Raziye Farmani, Ian Jefferson, Fayyaz A. Memon, David Butler, y Chris D. F. Rogers. 2012. “Urban Futures and the Code for Sustainable Homes”. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability* 165 (1): 37–58. doi:10.1680/ensu.2012.165.1.37.
- Ilbay-Yupa, Mercy, Waldo Lavado-Casimiro, Pedro Rau, Ricardo Zubieta, y Fiorela Castillón. 2021. “Updating Regionalization of Precipitation in Ecuador”. *Theoretical and Applied Climatology* 143 (3–4): 1513–28. doi:10.1007/s00704-020-03476-x.
- IWG, International Waters Governance. 2013. “International Waters Governance - Amazon Basin”. Informative. *International Waters Governance*. <https://www.internationalwatersgovernance.com/amazon-basin.html>.
- Jurado, María Rosa. 2017. “Desbordamientos de varios ríos causan severas inundaciones en Tena”. *La República*. 3 de septiembre. <https://www.larepublica.ec/blog/2017/09/03/desbordamientos-varios-rios-causan-severas-inundaciones-tena/>.
- Kaika, Maria. 2005. *City of Flows: Modernity, Nature, and the City*. Nueva York: Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203826928?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle.
- Kiara, Diana y Condori Leguia. 2025. “De la máquina térmica al metabolismo económico”. *Reporte Técnico*, n.º 1 (septiembre). 1–8. doi:10.13140/RG.2.2.25942.51521.
- Kireitseva, Hanna, Illia Tsyhanenko-Dziubenko, Svitlana Khomenko, y Olha Palii. 2025. “Integral Assessment of the Effectiveness of Water Resource Management in Communities for Sustainable Development”. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources* 16 (1): 27–38. doi:10.63341/esbur/1.2025.27.
- Kvale, Steinar. 2010. *Doing Interviews*. Los Angeles: SAGE.

- Larrea, Carlos. 2021. "La Amazonía: una fuente de vida bajo asedio". *Revista Andina*, n° 4 (agosto): 23–29. <https://www.uasb.edu.ec/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Andina-N4-Julio202.pdf>.
- Li, Peiyue, y Jianhua Wu. 2023. "Water Resources and Sustainable Development". *Water* 16 (1): 1–6. doi:10.3390/w16010134.
- Likert, Rensis. 1932. "A Technique for the Measurement of Attitudes". *Archives of Psychology* 22 (140): 1–55. https://www.academia.edu/118125341/A_technique_for_the_measurement_of_attitudes.
- Linton, Jamie. 2010. *What Is Water? The History of a Modern Abstraction*. Vancouver: UBC Press.
- Linton, Jamie, y Jessica Budds. 2014. "The Hydrosocial Cycle: Defining and Mobilizing a Relational-Dialectical Approach to Water". *Geoforum*, 57 (noviembre): 170–80. doi:10.1016/j.geoforum.2013.10.008.
- Lucas-Solis, Oscar Enrique. 2021. "Dinámicas espaciales de la minería de oro y sus efectos sobre la pérdida de los bosques tropicales y afectaciones en los recursos hídricos, aplicando sensores remotos: caso de la cuenca alta del Río Napo, Amazonía, Ecuador". Tesis de pregrado, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Tena. http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/567.
- Lucas-Solis, Oscar, Gabriel M. Moulatlet, Jeniffer Guamangallo, Naomi Yacelga, Lipsi Villegas, Emily Galarza, Bryan Rosero, et al. 2021. "Preliminary Assessment of Plastic Litter and Microplastic Contamination in Freshwater Depositional Areas: The Case Study of Puerto Misahualli, Ecuadorian Amazonia". *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 107 (1): 45–51. doi:10.1007/s00128-021-03138-2.
- Lv, Chunlan, Yanli Chen, y Qian Huang. 2025. "Intergenerational Equity Based Optimization Model Joint of Water Allocation and Water Quality Management". *Scientific Reports* 15 (1): 1–17. doi:10.1038/s41598-025-03670-9.
- Malolo, Rossanie, Save Kumwenda, Kondwani Chidziwisano, Christabel Kambala, y Tracy Morse. 2021. "Social Outcomes of a Community-Based Water, Sanitation and Hygiene Intervention". *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development* 11 (3): 483–93. doi:10.2166/washdev.2021.264.
- Marengo, Jose Antonio, Jhan-Carlo Espinoza, Rong Fu, Juan Carlos Jimenez Muñoz, Lincoln Muniz Alves, Humberto Ribeiro Da Rocha, y Jochen Schöngart. 2024.

- “Long-term variability, extremes and changes in temperature and hydrometeorology in the Amazon region: A review”. *Acta Amazonica* 54: 1–20. doi:10.1590/1809-4392202200980.
- Marín, Gonzalo. 2003. “La realidad mundial de los recursos hídricos”. *Revista Papeles de Cuestiones Internacionales*, Después de Irak: el Imperio contra el Derecho, , n.º 82. Madrid: 83–92. https://www.fuhem.es/papeles_articulo/la-realidad-mundial-de-los-recursos-hidricos/?srsltid=AfmBOop_85sFuYRYYYJHjRjBpEDOYdtouTD4rwNPm1GYf9KprEhsZUZDT.
- Márquez, Cristina. 2023. “Desnutrición crónica y agua contaminada: la dura realidad de la Amazonía ecuatoriana”. *Youtopia*. 22 de septiembre. <https://youtopiaecuador.com/desnutricion-cronica-agua-contaminada-amazonia-ecuador/>.
- Mena, Carlos F., Stephen J. Walsh, Brian G. Frizzelle, Yao Xiaozheng, y George P. Malanson. 2011. “Land Use Change on Household Farms in the Ecuadorian Amazon: Design and Implementation of an Agent-Based Model”. *Applied Geography* 31 (1): 210–22. doi:10.1016/j.apgeog.2010.04.005.
- Meybeck, M. 1989. “The Quality of Rivers: From Pristine Stage to Global Pollution”. *Global and Planetary Change* 1 (4): 283–309. doi:10.1016/0921-8181(89)90007-6.
- Mishra, Binaya, Pankaj Kumar, Chitresh Saraswat, Shamik Chakraborty, y Arjun Gautam. 2021. “Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions”. *Water* 13 (490): 1–21. doi:10.3390/w13040490.
- OECD, European Union, y Joint Research Centre - European Commission. 2008. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. Paris: OECD. doi:10.1787/9789264043466-en.
- OMS. 2011. *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda*. Cuarta. Ginebra. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>.
- RAISG, Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada. 2022. *Deforestación en la Amazonía al 2025 Bajo un enfoque de accesibilidad al bosque*. Reporte. RAISG. https://ecociencia.org/wp-content/uploads/2024/04/Pasado_futuro_deforestacion.pdf.

- Reyes Escate, Luis, Jaime Hoogesteger, y Rutgerd Boelens. 2022. “Water Assemblages in Hydrosocial Territories: Connecting Place, Space, and Time through the Cultural-Material Signification of Water in Coastal Peru”. *Geoforum* 135 (octubre): 61–70. doi:10.1016/j.geoforum.2022.07.005.
- Rockstrom, Johan. 2013. *Balancing Water for Humans and Nature*. Primera edición. Londres: Routledge. doi:10.4324/9781849770521.
- Rogers, Sarah, y Mark Wang. 2020. “Producing a Chinese Hydrosocial Territory: A River of Clean Water Flows North from Danjiangkou”. *Environment and Planning C: Politics and Space* 38 (7–8): 1308–27. doi:10.1177/2399654420917697.
- Rojas López, Justo. 2005. “Implicaciones del turismo en la ecología y el desarrollo de la amazonia en Napo, Ecuador”. *Teoría y Praxis* 1 (1): 49–67. doi:10.22403/UQROOMX/TYP01/03.
- Rosero, Bryan, Emily Galarza, Geordy Guerrero, Oscar Lucas, y Damián Tuba. 2020. *Boletín Calidad de Agua de la Cuenca del Río Tena*. Boletín 1. Tena: Universidad Regional Amazónica Ikiam.
- Sabando Bravo, Lilian Lizeth. 2021. “Diseño de redes de monitoreo de calidad del agua en cuencas Amazónicas: Caso de estudio en la cuenca del río Tena”. Tesis de pregrado, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Tena. http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/569.
- Saito, Kohei. 2017. *Karl Marx's Ecosocialism: Capital, Nature, and the Unfinished Critique of Political Economy*. New York: Monthly Review, (2017) 54321. Nueva York: Monthly Review Press. https://marxismo21.org/wp-content/uploads/2021/02/Kohei-Saito-2017-Karl-Marxu2019s-Ecosocialism_-_Capital.pdf.
- Salinas, Jenny Nagua, John Molina Villamar, Irán Rodríguez Delgado, y Bella Crespo Moncada. 2024. “Impacto al ambiente y a la salud pública por contaminación de hidrocarburos totales en la cuenca hidrográfica del río Coca y comunidades indígenas Kichwa”. *Polo del Conocimiento* 9 (4): 2739–62. doi:10.23857/pc.v9i4.7088.
- Sam, Marlowe, y Jeannette Armstrong. 2022. “Chapter 12 Indigenous water governance and resistance a Syilx Perspective”. En *The Social Life of Water*, editado por John R. Wagner, 239–54. Nueva York: Berghahn Books. doi:10.1515/9780857459671-015.

- San Sebastián, Miguel, y Anna Karin Hurtig. 2005. "Oil Development and Health in the Amazon Basin of Ecuador: The Popular Epidemiology Process". *Social Science & Medicine* 60 (4): 799–807. doi:10.1016/j.socscimed.2004.06.016.
- Sarmiento León, César Arturo. 2025. "Turismo y Conservación: Estrategias Comunitarias para la Protección de la Biodiversidad Amazónica". *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* 9 (5): 6296–311. doi:10.37811/cl_rcm.v9i5.19990.
- Scanlon, Bridget R., Sarah Fakhreddine, Ashraf Rateb, Inge De Graaf, Jay Famiglietti, Tom Gleeson, R. Quentin Grafton, Yoshihide Wada, Mark Giordano, Petra Döll, Hannes Müller Schmied, Martina Flörke, Stefan Siebert, y Petra van Oel. 2023. "Global Water Resources and the Role of Groundwater in a Resilient Water Future". *Nature Reviews Earth & Environment* 4 (2): 87–101. doi:10.1038/s43017-022-00378-6.
- Segarra Lindao, Victor German. 2022. "Evaluación de la oferta hídrica bajo escenarios de cambio climático en la microcuenca del Río Colonso, Ecuador". Tesis de pregrado, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Tena. http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/627.
- Seigerman, Cydney K., S. Kyle McKay, Raul Basilio, Shelly A. Biesel, Jon Hallemeier, Andressa V. Mansur, Candice Piercy, Gabriela R. Di Baldassarre, Erin R. Baker, y Patrick M. Reed. 2023. "Operationalizing Equity for Integrated Water Resources Management". *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 59 (2): 281–98. doi:10.1111/1752-1688.13086.
- Silva Rodríguez de San Miguel, Jorge Alejandro. 2019. *Territorios Hidrosociales: Una Revisión de La Literatura*. Alicante: Editorial Científica 3 Ciencias. doi:10.17993/EcoOrgyCso.2019.51.
- Steduto, Pasquale, Jean-Marc Faurès, Jippe Hoogeveen, James T. Winpenny, y Jacob J. Burke, eds. 2012. *Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security*. FAO water reports 38. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Sullivan, Caroline. 2002. "Calculating a Water Poverty Index". *World Development* 30 (7): 1195–1210. doi:10.1016/S0305-750X(02)00035-9.
- Svampa, Maristella. 2019. *Neo-Extractivism in Latin America: Socio-Environmental Conflicts, the Territorial Turn, and New Political Narratives*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108752589.

- Swyngedouw, Erik. 1999. "Modernity and Hybridity: Nature, Regeneracionismo, and the Production of the Spanish Waterscape, 1890-1930". *Annals of the Association of American Geographers* 89 (3): 443–65. doi:10.1111/0004-5608.00157.
- . 2004. "Globalisation or 'Glocalisation'? Networks, Territories and Rescaling". *Cambridge Review of International Affairs* 17 (1): 25–48. doi:10.1080/0955757042000203632.
- Swyngedouw, Erik, Maria Kaïka, y José Esteban Castro. 2016. "Agua urbana: una perspectiva ecológico-política", *The political ecology of urban water: conceptual and empirical contributions*, 3 (7): 11–35. <https://waterlat.org/WPapers/WPSATCUASPE37.pdf>.
- Tapuy, Kevin Hugo Shiguango. 2025. "Efectos de la Acuicultura y la Urbanización en la calidad del agua de la cuenca del río Tena". Ponencia presentada en la III Conferencia por La Amazonía Que Queremos. 13 de abril. Quito <https://www.usfq.edu.ec/sites/default/files/2025-04/spa-9-kevinshiguango.pdf?itok=puZvy4gUZw>.
- UN Water. 2024. "Gráficos de los Datos del ODS 6". Accedido el 19 de noviembre <https://www.sdg6data.org/index.php/es/charts/Lines>.
- UN Water y World Commission on Environment and Development Asamblea General. 1987. "*Our common future*" Report. 4 de agosto A/42/427. <https://digitallibrary.un.org/record/139811>.
- UNESCO. 2019. *Leaving No One Behind. The United Nations World Water Development Report 2019*. Paris: Unesco.
- . 2024. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2024: Agua para la prosperidad y la paz*. Erscheinungsort nicht ermittelbar: United Nations.
- Unicef, y WHO. 2023. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: special focus on gender*. Nueva York: Unicef / WHO. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/jmp-2023_layout_v3launch_5july_low-reswhowebiste.pdf.
- US EPA, United States Environmental Protection Agency. 2015. "National Primary Drinking Water Regulations". *Overviews and Factsheets*. 30 de noviembre. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>.

- Villacrés Bolaños, Juan Carlos. 2026. “El rol de las emociones y la subjetivación en el conflicto minero del cantón amazónico de Tena, Ecuador”. Área de Ambiente y Sustentabilidad. Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar sede Ecuador, Quito. UASB. <http://hdl.handle.net/10644/10933>.
- Vörösmarty, C. J., P. B. McIntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, et al. 2010. “Global Threats to Human Water Security and River Biodiversity”. *Nature* 467 (7315): 555–61. doi:10.1038/nature09440.
- Vos, Jeroen, y Rutgerd Boelens. 2014. “Sustainability Standards and the Water Question”. *Development and Change* 45 (2): 205–30. doi:10.1111/dech.12083.
- WorldPop, y Maksym Bondarenko. 2020. “Individual Countries 1km UN Adjusted Population Density (2000-2020)”. University of Southampton. <https://hub.worldpop.org/geodata/listing?id=77>. doi:10.5258/SOTON/WP00675.
- WWAP, Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. 2017. *Aguas residuales: el recurso no explotado*. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos. París: UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>.
- Zabala Pozo, Diego Fernando. 2016. “Determinación de la calidad de agua del río tena desde la universidad Ikiam a la parroquia Muyuna del cantón Tena mediante el análisis físico, químico y microbiológico, para proponer un plan de manejo ambiental”. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja, Loja. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/17366>.

Anexos

Anexo 1. Base de datos y entrevistas

- [ISH.xlsx](#)
- [Fotos y videos de entrevistas](#)