



ANÁLISIS DE LOS DESAFÍOS DE SOSTENIBILIDAD EN SISTEMAS DE RIEGO DE LOS ANDES

UNDERSTANDING SUSTAINABILITY ISSUES IN ANDEAN IRRIGATION SYSTEMS

Gina Berrones* y Rolando Célleri

Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales, Universidad de Cuenca. 010150, Cuenca, Ecuador. [https://ror.org/04r23zn56]

*Autor para correspondencia: ginaberrones@gmail.com

Manuscrito recibido el 31 de julio de 2024. Aceptado, tras revisión el 20 de junio de 2025. Publicado el 1 de septiembre de 2025.

Resumen

La agricultura de regadío consume aproximadamente 70% del agua dulce mundial, por lo que resulta necesario asegurar un suministro sostenible. Se requieren estrategias para el uso sostenible del agua, que incorporen avances técnicos, agronómicos e institucionales, especialmente en países en desarrollo en los Andes, donde la agricultura es crucial para el crecimiento socioeconómico. La identificación de temas relacionados con la sostenibilidad en sistemas de riego es esencial, pero la información existente es limitada, ya que la mayoría de los estudios se centran en pocos sistemas. Se analizaron los datos de encuestas realizadas en el 2022 por el Gobierno Provincial del Azuay, Ecuador, con representantes de juntas de riego. También, se adaptó la metodología del Informe Mundial sobre el Desarrollo del Agua 2023 para evaluar estos sistemas, considerando los factores socioeconómicos, recursos hídricos, usuarios y gobernanza. Nuestro estudio incluyó 235 sistemas de riego con áreas irrigadas que varían de 0,5 a 2400 hectáreas, clasificados en cuatro grupos: (a) micro (<10 ha), (b) pequeño (10-100 ha), (c) mediano (100-500 ha) y (d) grande (>500 ha). Los problemas más urgentes identificados incluyen la asignación de agua no proporcional al área irrigada, la producción agrícola que ya no es la principal fuente de ingresos, el incumplimiento de reglamentos y el pago de tarifas. La mayoría de estos problemas se deben a una gobernanza débil. Nuestros hallazgos destacan la complejidad de los sistemas de riego y las barreras para su desarrollo. Este análisis integral proporciona ideas para políticas efectivas y enfatiza la importancia de evaluaciones regulares, que deben incluir monitoreo sistemático, recolección de datos y desarrollo de indicadores.

Palabras clave: Asignación de agua, Gobernanza, Tomadores de decisiones, Juntas de riego, Agricultura de regadío.

Abstract

Irrigated agriculture consumes approximately 70% of the world's freshwater, making sustainable water delivery imperative. Strategies for sustainable water use, incorporating technical, agronomic, managerial, and institutional advancements are urgently needed, especially in developing countries such as those in the Andes, where agriculture is crucial for socioeconomic growth. Identifying the main issues related to sustainability of irrigation systems are essential, but limited information exists, as most studies focus on small groups of systems rather than a diverse range. To address this, we analyzed data from surveys conducted in 2022 by the Regional Government of Azuay, Ecuador, with representatives of water user associations. We adapted the methodology outlined in the United Nations World Water Development Report 2023 to evaluate these mountain irrigation systems, considering socioeconomic, water resources, users and governance factors. Our study included 235 irrigation systems with irrigated areas ranging from 0.5 to 2400 hectares, classified into four groups: (a) micro (<10 ha), (b) Small (10-100 ha), (c) Medium (100-500 ha), and (d) large (>500 ha). The most urgent issues identified include water allocation not proportional to the irrigated area, agricultural production no longer being the primary source of income, and non-compliance with management rules and fee payments. Most of the issues are due to weak governance. Our findings highlight the complexity of irrigation systems and the barriers to their development. This comprehensive analysis provides insights for building effective policies and emphasizes the importance of regular assessments, which should include systematic monitoring, data collection, and the development of performance indicators.

Keywords: Water allocation, Governance, Decision-makers, Water User Associations, Irrigated agriculture.

Forma sugerida de citar: Berrones, G. y Céleri, R. (2025). Análisis de los Desafíos de Sostenibilidad en Sistemas de Riego de los Andes. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 42(2):22-40. <https://doi.org/10.17163/lgr.n42.2025.02>.

IDs Orcid:

Gina Berrones: <https://orcid.org/0000-0001-5270-1771>

Rolando Céleri: <https://orcid.org/0000-0002-7683-3768>

1 Introducción

Los recursos hídricos no sólo son esenciales para sostener diversos sectores de la sociedad, como la producción de alimentos, la generación de energía y el suministro de bienes y servicios, sino que también sirven como motores económicos en muchas regiones (Sauer et al., 2010; United Nations, 2021). Más allá de su necesidad, la importancia del agua se ha convertido en un factor fundamental que influye en las actividades económicas y en el desarrollo general de la sociedad. En particular, es importante la forma en que la agricultura utiliza los recursos de agua dulce para garantizar la disponibilidad en diversos sectores y salvaguardar los ecosistemas (FAO, 2020). La agricultura es el mayor consumidor de agua a nivel mundial, pues utiliza aproximadamente el 70% del agua total extraída para fines de riego (United Nations, 2021; Wada et al., 2016; Wisser et al., 2008), lo que pone de manifiesto la necesidad de estrategias de gestión eficaces, especialmente en los países en desarrollo donde la agricultura es fundamental para el crecimiento socioeconómico (Li et al., 2020), como en los Andes.

Además, se considera que la agricultura tiene el valor añadido más bajo a nivel mundial, sobre todo en los países con ingresos bajos y medios (United Nations, 2021), lo que subraya los retos a los que se enfrenta la optimización de sus contribuciones económicas. Por lo tanto, surge la preocupación por la mejora de la productividad del agua para uso agrícola al tiempo que se garantiza la seguridad alimentaria (Bjornlund et al., 2023), sobre todo a la hora de apoyar a los agricultores que dependen en gran medida de la agricultura de regadío para su subsistencia (United Nations, 2023). El regadío se muestra como un motor importante del aumento del rendimiento y ha desempeñado un papel esencial a la hora de facilitar los incrementos sustanciales de la producción (Alexandratos and Bruinsma, 2012), subrayando así su importancia en el desarrollo agrícola.

Para lograr una gestión sostenible del riego se necesita contar con estrategias integrales que abarquen dimensiones técnicas, agronómicas, de gestión e institucionales (Gutierrez et al., 2014; Sirimevan et al., 2021a). Los sistemas de riego involucran a múltiples actores que requieren interacciones entre las partes interesadas para lograr su plena

funcionalidad (van Rooyen et al., 2017). Además, el regadío exige amplias infraestructuras y conocimientos para facilitar el acceso al agua, su almacenamiento y su transporte a los sistemas, garantizando al mismo tiempo una distribución equitativa a los campos de los agricultores y las necesidades medioambientales (Parry et al., 2020). La gestión eficaz de los recursos hídricos, la distribución, los derechos y las operaciones de mantenimiento implican tanto a las comunidades locales como a los marcos institucionales (van Rooyen et al., 2017).

La cooperación social dentro de las comunidades desempeña un rol clave en la gestión sostenible del riego. Históricamente, los sistemas de riego gestionados por comunidades en los Andes han demostrado la eficacia de la acción colectiva y la colaboración (Hoogesteger, 2015). Este es el caso de las Asociaciones de Usuarios de Agua (AUA), que gestionan los recursos de riego a través de enfoques participativos y han surgido como facilitadores significativos de la acción colectiva, movilizándolo a las comunidades hacia objetivos comunes (Hoogesteger, 2013, 2015). Por lo tanto, hay que establecer una cooperación participativa entre las partes interesadas para facilitar la gobernanza del agua y los procesos de toma de decisiones (FAO, 2016; United Nations, 2023).

Las AUA suelen enfrentarse a problemas como estrategias de implementación inadecuadas y una delimitación poco clara de funciones y responsabilidades, entre otros (United Nations, 2023). Estos obstáculos pueden impedir de forma significativa el funcionamiento eficaz de las AUA y socavar su capacidad para alcanzar objetivos de gestión sostenible del riego. Uno de los principales problemas es la falta de datos e información; sobre todo en los aspectos relacionados al funcionamiento, la gestión y el impacto de los sistemas de riego, incluido el bienestar de los agricultores. Solo existen escasos estudios sobre la gestión del riego y el desarrollo socioeconómico en los Andes. Communal et al. (2016) y Hoogesteger (2013) examinaron los cambios en la gestión de la distribución del agua entre los pequeños agricultores y analizaron la cooperación comunitaria en la gestión de los sistemas de riego en el norte de los Andes ecuatorianos, haciendo hincapié en la importancia de las iniciativas locales y el compromiso de la comunidad en las prácticas de gestión sostenible de los recursos hídricos. Mien-

tras tanto, Gutierrez et al. (2014) y Leroy et al. (2022) proporcionaron perspectivas más amplias sobre el desarrollo agrícola de regadío y los cambios institucionales dentro de las AUA en la región andina. Leroy (2019) se centró en la percepción de las causas socioeconómicas de la escasez de agua dentro de las AUA en los páramos de Colombia y Venezuela. En conjunto, estos estudios destacan la necesidad de enfoques integrados que consideren tanto los contextos locales como los marcos institucionales más amplios.

La mayoría de los estudios existentes en los Andes se han centrado en uno o en pequeños grupos de sistemas de riego, lo que dificulta la comprensión de la organización, la funcionalidad y la sostenibilidad del riego en la región, especialmente dadas las grandes variaciones en la superficie regada y en el número de usuarios de esos sistemas. Hay poca información sobre las condiciones físicas actuales de los sistemas de riego, la coordinación entre usuarios y administración, el funcionamiento y mantenimiento de los sistemas, el impacto de las sequías y el efecto del riego en los medios de subsistencia de los usuarios. Por lo tanto, hay que resolver este vacío de información para desarrollar estrategias globales de gestión sostenible del regadío en la región.

Hasta donde sabemos, ningún estudio se ha centrado en estudiar una amplia gama de sistemas de riego y en cómo los gestionan las AUA. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es analizar e identificar los principales problemas de sostenibilidad a los que se enfrentan los usuarios dentro de una amplia muestra de sistemas de riego de montaña, con el objetivo de proporcionar información relevante a los responsables de la toma de decisiones para que puedan intervenir con conocimiento de causa.

Adaptamos la metodología descrita en el Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2023 (United Nations, 2023), que ofrece una categorización exhaustiva de los factores que influyen en el rendimiento de las AUA y el nivel de cooperación entre las partes interesadas que participan en los sistemas de riego. Aunque el alcance de este estudio no es evaluar el rendimiento de las AUA per se, utilizamos este marco de categorización para examinar críticamente la gestión y la sostenibilidad de los

sistemas de riego. Tuvimos en cuenta los siguientes factores: condiciones socioeconómicas, recursos hídricos, gobernanza y dinámica de los usuarios. Nuestro análisis se basa en un conjunto de datos obtenidos por el Gobierno Regional del Azuay mediante encuestas realizadas en 2022 a representantes de 235 AUA de toda la provincia, en el sur de los Andes ecuatorianos.

2 Materiales y Métodos

2.1 Región de estudio: Sistemas de riego en zonas de montaña de Azuay

La provincia de Azuay, ubicada en el sur de Ecuador, abarca dos zonas: la región interandina, limitada por las cordilleras andinas occidental y oriental, y la región costera occidental (Tenesaca et al., 2017). Con una superficie de 8 309,6 km², Azuay presenta una importante diversidad bioclimática, que se traduce en siete zonas bioclimáticas distintas. Estas incluyen ecosistemas como los pastizales de páramo, los bosques montanos siempreverdes y las zonas influenciadas por las actividades humanas (Tenesaca et al., 2017). El clima regional está marcado por una variabilidad considerable. Las investigaciones en la cuenca del Paute demuestran diferencias espacio-temporales significativas, particularmente en la precipitación, donde los totales medios anuales varían desde aproximadamente 660 mm en los valles interandinos hasta más de 3400 mm en las laderas de la cordillera oriental que reciben una humedad amazónica sustancial (Celleri et al., 2007). La temperatura también muestra una variación significativa con la altitud y la exposición, creando diversas condiciones térmicas desde páramos fríos y húmedos hasta valles más bajos más templados (Camposano et al., 2016; Celleri et al., 2007).

El territorio provincial se caracteriza predominantemente por fuertes pendientes que limitan la mecanización agrícola, en particular debido a los problemas de riego. Existen riesgos de erosión hídrica y eólica, así como de movimiento de masas de suelo. Menos del 15% del territorio provincial consiste en llanuras y colinas onduladas, que generalmente están libres de piedras y son adecuadas para diversos tipos de mecanización agrícola, con algunas restricciones (GPA, 2018).

Las zonas rurales del Azuay se caracterizan por su economía agrícola y ganadera (GPA, 2018). En Azuay, las prácticas agrícolas están enfocadas principalmente al autoconsumo y frecuentemente se combinan con otras actividades no agrícolas (GPA, 2019). El III Censo Nacional Agropecuario destaca el cultivo de diversos rubros en Azuay, entre ellos el cultivo en asociación de maíz y fréjol, papa, haba, arveja, zanahoria y diversos frutales. Estas prácticas agrícolas utilizan en su mayoría métodos tradicionales con mínima implementación tecnológica (GPA, 2019). En términos de superficie cultivada, Azuay cubre aproximadamente 205 281 hectáreas dedicadas a la agricultura y la ganadería (ESPAC, 2023). Los sistemas de riego en la provincia son públicos, comunitarios y privados, que en muchos casos son administrados por las AUA.

2.2 Fuente de datos

Los datos utilizados en este estudio se obtuvieron del inventario de sistemas de riego realizado por el Gobierno Provincial del Azuay en 2022. Antes de este inventario, la información disponible sobre los sistemas de riego en la provincia se encontraba dispersa en diversas fuentes e instituciones guber-

namentales, por lo que no se contaba con un conjunto de datos consolidado, completo y coherente. En consonancia con los objetivos estratégicos del plan provincial de riego, se emprendió la tarea de recopilación de datos para formular políticas que garanticen una gestión eficaz del agua destinada específicamente al regadío. Además, el diseño de la encuesta implicó la colaboración entre un equipo interdisciplinar del gobierno local, una organización no gubernamental, consultores y la Universidad de Cuenca.

Aunque se ha informado de la existencia de aproximadamente 400 sistemas de riego en la provincia, la información disponible se refiere únicamente a 267 sistemas de riego. Además, de estos 267 sistemas, 168 sistemas de riego han sido georreferenciados, como se muestra en la Figura 1. Surgieron algunos vacíos de información sobre diversos temas del cuestionario debido al limitado acceso a la información por parte de los encuestados y a problemas logísticos. Teniendo en cuenta estos factores, utilizamos específicamente un conjunto de datos de 235 sistemas de riego, lo que garantiza una base fiable para el análisis.

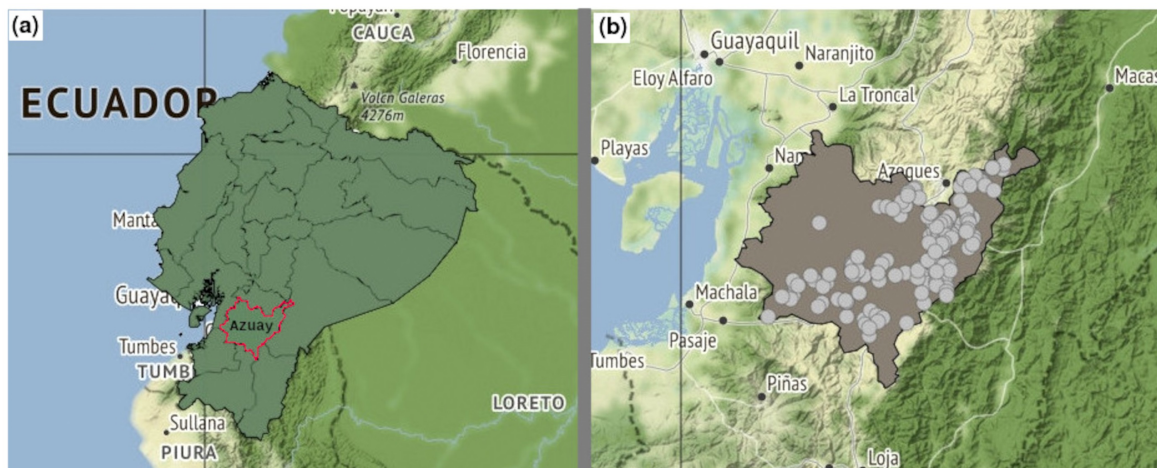


Figura 1. (a) Ubicación de la provincia de Azuay en Ecuador. (b) Sistemas de riego en la provincia de Azuay. Los puntos de color en el mapa indican la posición de 168 sistemas de riego georreferenciados.

La encuesta se dirigió a representantes de cada AUA. La recopilación de datos se llevó a cabo *in situ* utilizando la herramienta de recopilación de datos y encuestas de código abierto Kobo Toolbox

(www.kobotoolbox.org). Kobo Toolbox es una plataforma de uso mundial para la recopilación, gestión y visualización de datos, que facilita la recopilación de datos fuera de línea, incluso en lugares remotos

con conectividad limitada. Las encuestas incluían un extenso cuestionario de 400 preguntas que abarcaban 11 temas, incluida información general sobre la ubicación, el uso del agua, las infraestructuras, los aspectos operativos, la gestión socio-administrativa y las prácticas de riego predominantes.

2.3 Clasificación de los sistemas de riego

Para comprender los principales problemas a los que se enfrentan los usuarios de los sistemas de riego, clasificamos estos sistemas en cuatro grupos en función del tamaño de la superficie regada. Dado que las superficies de regadío pueden variar entre 0,5 ha y 2 400 ha, esta clasificación permitió analizar sistemas comparables y evaluar sus principales retos y puntos fuertes. Los sistemas de irrigación se clasificaron de la siguiente manera: a) Microsistemas, con un área irrigada inferior a 10 hectáreas; b) Pequeños sistemas, con un área de 10 a 100 hectáreas; c) Sistemas medianos, con 100 a 500 hectáreas; y d) Grandes sistemas, con un área irrigada superior a 500 hectáreas.

Se analizaron diversos aspectos relacionados con el regadío y se examinó el papel de las AUA para ofrecer una visión global de la sostenibilidad de los sistemas de riego. Este análisis incluyó la evaluación de la percepción de la calidad del agua, la asignación del agua, la distribución del agua, las fuentes de agua para la toma, problemas de infraestructura dentro de los sistemas de riego, el papel del operador, las tarifas del agua, los derechos sobre el agua y el establecimiento de juntas, entre otros. Comparando estos aspectos, identificamos áreas clave que requieren atención.

A partir de las respuestas a la encuesta, analizamos los principales retos a los que se enfrentan estos sistemas. Este estudio representa un primer intento de comprender el estado actual de los sistemas de riego y evaluar su sostenibilidad.

2.4 Asignación del agua y dependencia de las actividades agropecuarias

Algunos de los temas más importantes están relacionados con las diferencias en la distribución del agua, el número de usuarios/agricultores que tienen derechos de agua y el agua asignada a los sistemas. Estos temas surgen del hecho de que el

tamaño de las explotaciones puede variar mucho, desde parcelas muy pequeñas a grandes áreas; por lo tanto, se desconoce el número real de titulares de derechos de agua en cada sistema de riego y si existe una relación entre ellos y la asignación total de agua. Utilizamos gráficos de dispersión para examinar la relación entre el número de usuarios y el agua asignada en función de su superficie regada.

Para evaluar las posibles diferencias en la superficie de regadío por usuario y el caudal asignado por usuario entre las categorías de tamaño de los sistemas de riego, empleamos la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Se eligió este enfoque porque los datos violaban los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk, $p < 0,001$) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene, $p < 0,001$). Se realizaron comparaciones post-hoc por pares mediante la prueba de Dunn con corrección de Bonferroni para identificar diferencias específicas entre grupos, con una significancia estadística fijada en $\alpha = 0,05$. Además, exploramos posibles asociaciones entre variables clave (superficie regada, número de usuarios, coste de los derechos de agua, tarifas del agua) utilizando la correlación de rangos de Spearman.

Otra pregunta frecuente es cómo contribuyen la producción agrícola y ganadera de estos sistemas a la subsistencia de los agricultores. Para investigar la dependencia de los agricultores de estas actividades productivas para su subsistencia, empleamos gráficos de caja. Este enfoque nos permitió representar visualmente la variabilidad y el grado de dependencia de la agricultura y la ganadería en los distintos sistemas de riego.

2.5 Comparación de factores socioeconómicos, hídricos, de gobernanza y de usuarios entre sistemas de riego

Extrajimos los datos de las encuestas para estudiar las características y los factores que influyen en la funcionalidad de las AUA y en la sostenibilidad de los sistemas de riego, como se indica en el Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2023. La Tabla 1 ofrece una visión general y un resumen de la información extraída de las encuestas, que se analizó y comparó para cada categoría de sistema de riego (es decir, micro, pequeño, mediano y grande). Es

te análisis permite identificar las prioridades para abordar los temas relativos a la sostenibilidad de los sistemas de riego, que a su vez afectan a la seguridad alimentaria e hídrica.

Tabla 1. Factores que afectan a la sostenibilidad de los sistemas de riego. Modificado del Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2023.

Factor	Información
Socioeconómico	Cultivos principales, Producción para autoconsumo, Actividad productiva primaria, Mercados objetivo de venta, Valor añadido en los productos, Retos de comercialización, Pérdidas de producción asociadas a las prácticas de riego, Afiliación a organizaciones de productores rurales, Pérdidas de cosecha y transporte.
Recursos hídricos	Sistemas de riego situados por encima de los 3000 m s.n.m., Caudales, Método de riego, Sistemas de embalses, Estado de la infraestructura de riego, Conducción del agua, Frecuencia de mantenimiento, Calidad del agua, Reducción de los caudales de agua, Aumento de la frecuencia de sequías/inundaciones, Cambios en los turnos de agua en las estaciones secas.
Gobernanza	Tasas por uso del agua, Normas de distribución del agua, Financiación de proyectos de restauración, Tipo de organización, Situación jurídica, Derechos de agua, Apoyo y cooperación, Normativa.
Usuarios	Problemas en el sistema de riego, Funcionamiento y mantenimiento del sistema, Formación de operadores, Formación de otros usuarios, Capital social, Capacidades administrativas, de gestión y contabilidad.

3 Resultados y Discusión

3.1 Asignación del agua y dependencia de las actividades agropecuarias

La descarga de arroyos y ríos es la principal fuente de agua para el riego (71% de los sistemas), seguida de los manantiales (26%), los lagos (2%) y las aguas subterráneas (1%). Los sistemas más comunes son los comunitarios (90%), seguidos de los privados (7%) y los públicos (3%). La mayoría de los sistemas de riego son operados por AUA (78%) localmente llamadas "Junta de riego", que son organizaciones comunitarias sin fines de lucro encargadas de proporcionar servicios de riego y drenaje de acuerdo con el artículo 48 del Reglamento Ley Recursos Hídricos y Aprovechamiento del Agua (Correa, 2015). Las AUA coordinan la administración, operación y mantenimiento de los sistemas de riego. De acuerdo con la clasificación de los sistemas de riego, 62 sistemas medianos tienen el mayor número total de usuarios (8433). Los sistemas pequeños también tienen un número importante de usuarios (121 sistemas con 6781 usuarios). Por otro lado, sólo 11 grandes sistemas de riego atienden a un número importante de usuarios (5348). Por el contrario, hay 41 microsistemas con 1468 usuarios, lo que indica la prevalencia del minifundismo.

Encontramos una distribución desigual del agua entre los usuarios, independientemente de su superficie regada. De hecho, la gran dispersión de la Figura 2 ilustra la falta de relación entre la superficie de regadío por usuario y el caudal de agua asignado (l/s) por usuario. Esta disparidad es evidente en todas las categorías de sistemas, donde el número de usuarios varía desproporcionadamente para el mismo caudal de agua y el caudal asignado varía significativamente para el mismo número de usuarios. Algunos sistemas presentan una asignación de agua por hectárea muy baja, lo que los hace insostenibles. Esta situación puede deberse a diversos factores, como un aumento del número de usuarios tras la construcción del sistema o mediciones inexactas durante el estudio de asignación de agua. A la inversa, algunos sistemas tienen un caudal asignado superior al necesario. Es imperativo que las autoridades locales supervisen estos sistemas para solucionar la distribución desigual del agua entre los usuarios. La supervisión continua es esencial para garantizar la sostenibilidad de los sistemas.

La prueba de Kruskal-Wallis reveló diferencias significativas en el caudal asignado por usuario entre las categorías de tamaño de los sistemas de riego ($\chi^2 = 40,43$, $df = 3$, $p < 0,001$). Las pruebas post hoc de Dunn (corregidas por Bonferroni) indicaron

que los sistemas pequeños y micro diferían significativamente de los sistemas grandes y medianos ($p < 0,05$), mientras que no se encontraron diferencias significativas entre los sistemas grandes y medianos ($p = 0,489$). Del mismo modo, la superficie regada por usuario varió significativamente entre las categorías de sistemas ($\chi^2 = 112,97$, $df = 3$, $p < 0,001$). Las comparaciones post hoc mostraron que los usuarios de sistemas pequeños y micro te-

nían superficies regadas significativamente diferentes en comparación con los de sistemas grandes y medianos ($p < 0,001$), sin diferencias significativas entre sistemas grandes y medianos ($p = 0,9425$). Estos resultados indican que el tamaño del sistema de riego está significativamente asociado con la distribución por usuario tanto de la superficie regada como del agua asignada, lo que sugiere mayores disparidades en los sistemas más pequeños.

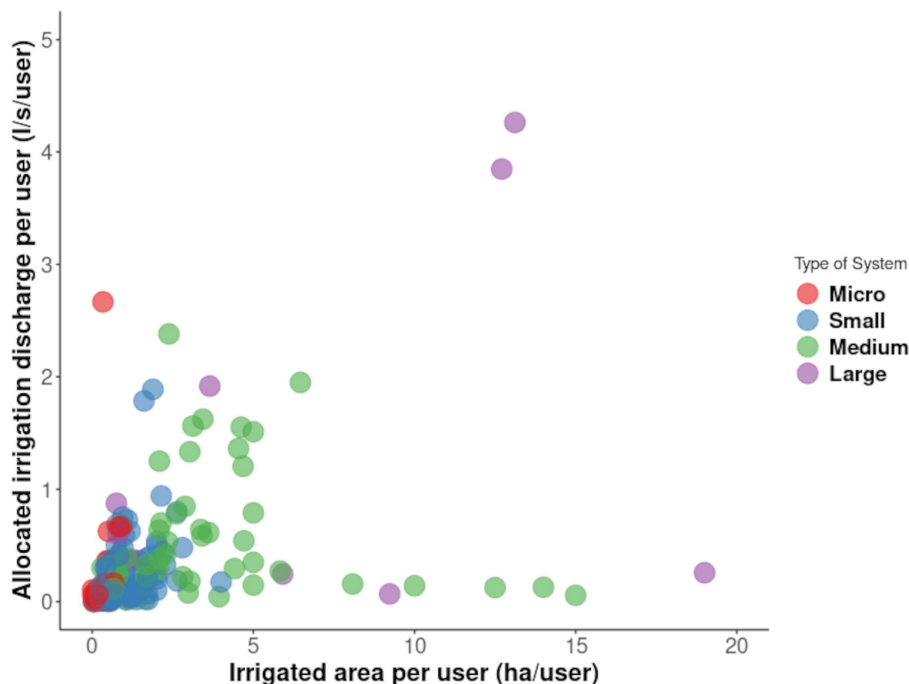


Figura 2. Relación entre la superficie regada (ha/usuario) y el caudal asignado (l/s/usuario) para cada categoría de sistema de riego.

Los análisis de correlación de Spearman entre la superficie de regadío, el número de usuarios, el coste de los derechos de agua y las tarifas de agua sólo arrojaron asociaciones débiles, lo que indica que no existen relaciones lineales sólidas entre estas variables en este conjunto de datos.

Los medios de subsistencia de los agricultores dependen en diversos grados de las actividades agrícolas y ganaderas (Figura 3). Los sistemas medianos y grandes muestran una dependencia más directa de las actividades productivas, mientras que los sistemas pequeños y micro presentan una mayor variación. De los 235 sistemas de riego analizados,

151 (64%) dependían en más del 70% de las actividades agrícolas para su subsistencia. En concreto, se trata de 43 sistemas medianos con 5167 usuarios, 77 sistemas pequeños con 3785 usuarios, 7 sistemas grandes que engloban a 2593 usuarios y 24 microsistemas que abarcan a 952 usuarios. Este análisis subraya la importancia de la agricultura de regadío en las economías rurales de las regiones montañosas. Sin embargo, aunque estos numerosos sistemas pequeños y micro son evidentemente cruciales para la subsistencia local, su productividad general y su sostenibilidad económica a largo plazo pueden verse limitadas por problemas comunes. Las investigaciones de Berhe et al. (2022) sobre el riego

a pequeña escala en Etiopía revelan que muchos de estos sistemas funcionan por debajo de su potencial de diseño, debido a problemas persistentes de funcionamiento, mantenimiento y capacidad de las instituciones gestoras locales, a menudo agravados por unos recursos financieros limitados.

Esto sugiere que el potencial de los micro y pequeños sistemas de nuestra zona de estudio para mejorar sustancialmente la producción agrícola y garantizar beneficios económicos duraderos para los usuarios podría verse socavado si no se abordan eficazmente estas dificultades operativas y financieras prevalentes, también destacadas por Berhe et al. (2022). Por el contrario, sólo el 10% de los sistemas de riego dependen en un 25% o menos de las acti-

vidades agrícolas y ganaderas para su subsistencia. Esta escasa dependencia puede atribuirse a la presencia de sistemas periurbanos y a la migración de la población a ciudades más grandes, lo que puede provocar el abandono de las tierras y poner en peligro la seguridad alimentaria. Otros factores, como la preferencia de la población más joven por empleos no agrícolas, también pueden contribuir a esta tendencia. Muchos usuarios o agricultores pueden buscar medios alternativos de subsistencia trabajando en zonas urbanas cercanas. Para comprender estos temas y las condiciones reales de los sistemas de riego, se necesita seguir recopilando datos, haciendo hincapié en la información adicional relevante, complementaria y crítica para apoyar la toma de decisiones informadas.

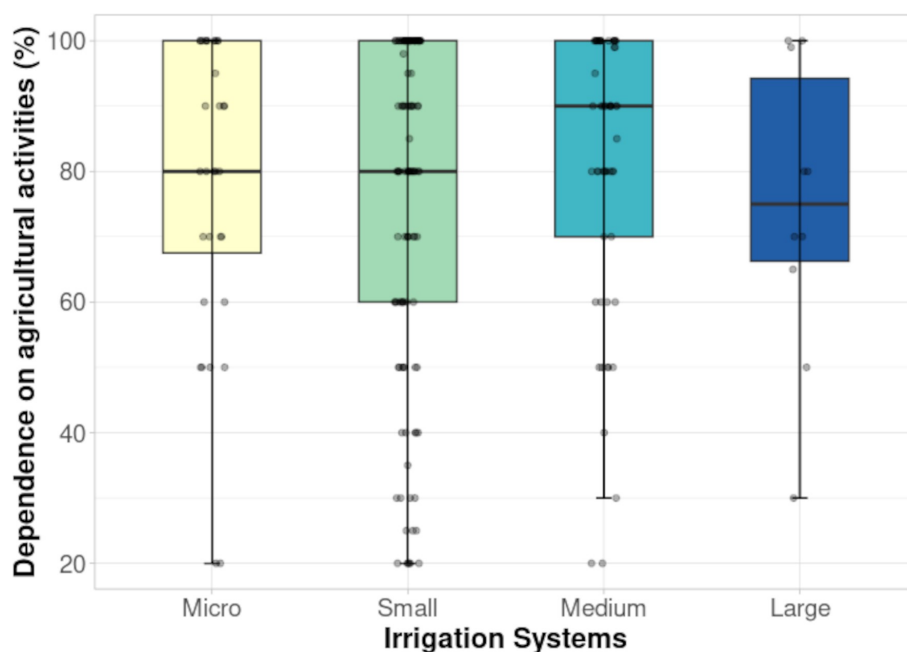


Figura 3. Dependencia de los medios de subsistencia de las actividades agrícolas y ganaderas para cada categoría de sistemas de riego.

3.2 Comparación de factores socioeconómicos, hídricos, de gobernanza y de usuarios entre sistemas de riego

En la Tabla 2 se describen los factores socioeconómicos que influyen en los sistemas de riego. Los cultivos principales en todos los sistemas incluyen pastos, asociaciones de maíz-fréjol y hortalizas. Ex-

cepto en los sistemas medianos, el porcentaje de tierra dedicado a pastos supera al de cultivos, probablemente por el hecho de que la mayor parte del área de producción en Azuay está destinada a pastos naturales y cultivados (GPA, 2018). Las actividades pecuarias, particularmente la producción lechera, tienen una importancia económica significativa en Azuay, representando el 8% de la produc-

ción nacional de leche (GPA, 2018). Sin embargo, los rendimientos de la producción lechera son bajos, lo que indica la necesidad de fortalecer las prácticas de manejo para hacerla más competitiva y equitativa para los productores.

Los agricultores manifestaron que el principal factor que contribuye a las pérdidas de producción es la falta de agua de riego. En los sistemas pequeños, existe preocupación por el mal uso del agua, lo que empeora la situación. Los de sistemas me-

dianos perciben que las sequías afectan aún más a la producción. Las prácticas eficaces de gestión del agua pueden mitigar los riesgos asociados a la escasez de agua y las desigualdades en la distribución, que son fundamentales para mantener los medios de vida agrícolas y las economías rurales. Los responsables de la toma de decisiones deben dar prioridad a las intervenciones que mejoren la infraestructura de riego, promuevan el uso sostenible del agua y apoyen la resiliencia general del sector agrícola.

Tabla 2. Factores socioeconómicos que influyen en la sostenibilidad para cada categoría de sistemas de riego. Se permiten respuestas múltiples; los totales pueden superar el 100%.

Factores socioeconómicos	Microsistemas (<10 ha)	Sistemas pequeños (10-100 ha)	Sistemas medianos (100-500 ha)	Sistemas grandes (>500 ha)
Cultivo principal	Pastos (83%)	Pastos (97%)	Pastos (84%)	Pastos (100%)
Segundo cultivo	Hortalizas (81%)	Asociaciones maíz-fréjol (83%)	Asociaciones maíz-fréjol (84%)	Asociaciones maíz-fréjol (73%)
Producción para autoconsumo	Sí (73%)	Sí (65%)	Sí (60%)	Sí (55%)
Mercado destinatario principal ^{mo}	Cantonal (76%)	Cantonal (69%)	Cantonal (84%)	Cantonal (82%)
Valor añadido en los productos	No (76%)	No (74%)	No (81%)	No (64%)
Retos de comercialización ^{mo}	Precios bajos (73%)	Precios bajos (82%)	Intermediarios (81%)	Precios bajos / Intermediarios (64% cada uno)
Factor de pérdida de producción primaria ^{mo}	Falta de agua (71%)	Falta de agua (58%)	Falta de agua (57%)	Falta de agua (73%)
Afiliados a Organizaciones de Productores	7%	13%	13%	18%
Pérdidas por cosecha y transporte	Sí (10%)	Sí (16%)	Sí (21%)	Sí (9%)

^{mo} = Los encuestados podían seleccionar varias opciones para los factores marcados con (*mo*) en la encuesta original; los porcentajes reflejan la frecuencia de selección de cada opción. "Principal" indica la respuesta más frecuente.

Las actividades productivas son principalmente de subsistencia, incluso entre los sistemas de regadío con mayores superficies irrigadas (es decir, pequeños, medianos y grandes), y la mayor parte de la producción se destina al autoconsumo. Esta situación contribuye a aumentar la migración rural y los retos para la seguridad alimentaria local. Por otra parte, el principal reto al que se enfrentan todos los sistemas de regadío es conseguir un precio

justo para sus productos que garantice la rentabilidad. Un problema clave es la ausencia de políticas e incentivos claros para ayudar a los pequeños agricultores a obtener precios justos por sus productos. Con frecuencia, los intermediarios compran los productos a precios significativamente bajos y se llevan una parte desproporcionada de los beneficios. La falta de comercio justo agrava la situación, obligando a los productores a aceptar precios reducidos

para evitar la pérdida de producto, perpetuando así la posición ventajosa de los intermediarios en la cadena de mercado. Este hallazgo se alinea con la investigación de Rebaï (2017), quien identifica la vulnerabilidad económica de los agricultores familiares en Azuay como derivada principalmente de su falta de acceso al mercado y subordinación a los actores intermediarios, limitando severamente su integración comercial. De hecho, la persistencia de estos desafíos relacionados con el mercado para las pequeñas asociaciones agrícolas, a pesar de las políticas destinadas a apoyarlas, también es destacado por Gómez-Ceballos et al. (2021) en Ecuador, donde se encontraron dificultades significativas en el funcionamiento de los mercados para estas asociaciones que obstaculizan su progreso económico.

Otro problema prevalente es la falta de organización y oportunidades para participar en asociaciones productivas, que tienen el potencial de facilitar el acceso directo al mercado. Esta debilidad observada resuena con el argumento central de Rebaï (2017) de que el fortalecimiento de las organizaciones de agricultores es fundamental para superar las barreras de acceso a los mercados y mejorar los vínculos entre las zonas rurales y urbanas. Según Rebaï (2017), reforzar estas organizaciones es crucial no solo para mejorar la integración económica y el poder de negociación con las autoridades públicas, sino también para fomentar potencialmente la colaboración entre los agricultores, con el fin de mejorar los sistemas productivos y la gestión de los recursos naturales (Ostrom, 1990). En particular, el Gobierno Provincial del Azuay se ha esforzado por establecer mercados directos, con el fin de beneficiar a los productores y garantizar una remuneración equitativa por sus esfuerzos. Este enfoque no sólo mejora la rentabilidad a largo plazo de los agricultores, sino que también garantiza un suministro constante de productos de alta calidad para los consumidores.

La Tabla 3 presenta los factores relacionados con los recursos hídricos. Los usuarios de los sistemas de riego afirman que el estado de las infraestructuras de riego oscila entre bueno y regular. Sin embargo, en los sistemas más grandes, la infraestructura suele calificarse de mala a regular, lo que indica una necesidad de mayores gastos de mantenimiento. Los sistemas más grandes señalan la necesidad de un mantenimiento más frecuente, aproximada-

mente cada mes, en contraste con los sistemas más pequeños, en los que el mantenimiento es más esporádico (de 6 a 12 meses). La necesidad frecuente de mantenimiento (principalmente para la limpieza de sedimentos y la reparación de fugas) subraya los problemas de los grandes sistemas. Estos datos tienen importantes implicaciones para la gestión, ya que sugieren que los grandes sistemas se enfrentan a costes adicionales y que deberían adoptarse medidas específicas para comprender y abordar los problemas concretos de estos sistemas.

Mientras que más del 55% de los agricultores perciben la calidad del agua de sus sistemas de riego como buena, los casos de calidad media suelen estar relacionados a residuos orgánicos procedentes de la agricultura y la ganadería cerca de las fuentes de agua. En cuanto a la percepción que tienen los agricultores de las variaciones del caudal de agua, se señala una disminución significativa de los caudales, sobre todo en los sistemas de riego más grandes. Esta reducción de caudales está vinculada a la expansión de la frontera agrícola y, en algunos casos, a la tala de vegetación nativa y bosques primarios para cultivar pastos para la ganadería. Estos impactos afectan principalmente a la parte baja de la cuenca, siendo los usuarios de esta zona los que experimentan mayores impactos en comparación con los de la cabecera.

En cualquier caso, la degradación de la calidad del agua y la reducción de la descarga podrían afectar negativamente a la seguridad alimentaria y deben ser tomadas en cuenta por los responsables políticos y los gestores del agua. De hecho, la degradación de recursos como el agua y el suelo puede, en última instancia, socavar la viabilidad de los sistemas agrícolas y los medios de subsistencia. Esto se alinea con los hallazgos de López-Carr et al. (2017), quienes identificaron la degradación del suelo como un motor clave de la emigración de las comunidades rurales en Guatemala, lo que sugiere un vínculo crítico entre la salud de los recursos y el potencial de desplazamiento de la población o el abandono del sistema si no se aborda dicha degradación. A pesar de la elevada altitud (más de 3000 m.s.n.m.), aún funcionan pocos sistemas de riego, sobre todo para la micro y pequeña agricultura, donde el riego es inadecuado debido al estado de conservación de estas zonas.

Tabla 3. Evaluación de los factores de los recursos hídricos que influyen en la sostenibilidad de cuatro tipos de sistemas de riego. Se permiten respuestas múltiples; los totales pueden superar el 100 %.

Factores de los recursos hídricos	Microsistemas (<10 ha)	Sistemas pequeños (10-100 ha)	Sistemas medianos (100-500 ha)	Grandes sistemas (>500 ha)
Sistemas de riego >3000 m s.n.m.	29%	26%	16%	9%
Principal método de riego ^{mo}	Riego por aspersión (68%)	Riego por aspersión (74%)	Riego por gravedad (69%)	Riego por aspersión/riego por gravedad (64% cada uno)
Sistemas con reservorio	54%	46%	37%	27%
Estado de la infraestructura	Regular (44%) Buena (34%)	Regular (37%) Buena (31%)	Regular (57%) Bueno (24%)	Malo (55%) Regular (27%)
Frecuencia de mantenimiento principal	6 meses (27%)	6 meses (30%)	6 meses (36%)	6 meses /1 mes (36% cada uno)
Percepción de la calidad del agua	Buena (66%)	Buena (60%)	Buena (68%)	Buena (55%)
Sedimentos en el agua de riego	Sí (56%)	Sí (60%)	Sí (52%)	Sí (82%)
Percepción de la disminución del caudal de agua	Sí (51%)	Sí (65%)	Sí (74%)	Sí (82%)
Causa principal percibida Reducción del caudal	Tala de bosque nativo (71%)	Tala de bosque nativo (79%)	Tala de bosque nativo (82%)	Tala de bosque nativo (46%)
Cambio de turnos de agua durante las estaciones secas	No (61%)	No (82%)	No (76%)	No (82%)
Aumento de las sequías en la última década	51%	63%	76%	82%

^{mo} = Los encuestados podían seleccionar varias opciones para los factores marcados con (*mo*) en la encuesta original; los porcentajes reflejan la frecuencia de selección de cada opción. "Principal" indica la respuesta más frecuente.

Otra preocupación es la continua dependencia de métodos de riego tradicionales (es decir, no presurizados) que contribuyen a importantes pérdidas de agua. Además, la mayoría de los sistemas de riego no disponen de reservorios o embalses para mitigar el impacto de la sequía, lo que los hace vulnerables. Esta susceptibilidad se corrobora por la percepción que tienen los usuarios del aumento de las sequías en los últimos tiempos. A pesar de que son conscientes de la existencia de temporadas más secas, no se han aplicado políticas ni estrategias de adaptación. Esta situación pone de relieve un reto más amplio en la gobernanza del agua. La investigación realizada en Asia Central por Abdullaev et al. (2025), por ejemplo, subraya que para abordar eficazmente la escasez de agua no basta con perseguir la eficiencia, sino que es necesario un

cambio en la gobernanza, y sostienen que una verdadera adaptación requiere dismantelar las importantes barreras existentes y reorientar los enfoques de gobernanza del agua para crear una preparación sólida y a largo plazo para un futuro incierto. Como complemento de esta opinión, Sirimewan et al. (2021b) subrayan, desde una perspectiva sociotécnica, que si bien la adopción de tecnologías mejoradas como el riego por aspersión o por goteo es vital para el uso sostenible del agua, estas soluciones técnicas no pueden tener éxito de forma aislada. Su investigación en Sri Lanka pone de manifiesto que el éxito de la adopción de estas prácticas eficientes también depende en gran medida de la existencia de entornos sociales, de gestión y normativos favorables.

En la Tabla 4 se examinan los problemas de go-

bernanza de los sistemas de riego. La ausencia de una normativa clara es evidente en los sistemas de riego, sobre todo en lo que se refiere a las tasas por el uso del agua, la distribución del agua y la adquisición de derechos sobre el agua. Resulta sorprendente comprobar que un número significativo de AUA carece de reconocimiento legal (29- 44%). Esta falta de estatus formal presenta varios inconvenientes. Sin reconocimiento legal, las AUA se enfrentan a di-

ficultades a la hora de gestionar sus sistemas con eficacia, conseguir fondos para mejorarlos y colaborar con ONG y otras organizaciones externas. El reconocimiento legal es crucial para que las AUA operen con plena autoridad, accedan a recursos financieros y colaboren con las partes interesadas para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de sus sistemas de riego.

Tabla 4. Evaluación de los factores de gobernanza que influyen en la sostenibilidad en cuatro tipos de sistemas de riego. Se permiten respuestas múltiples; los totales pueden superar el 100 %.

Factores de gobernanza	Microsistemas (<10 ha)	Sistemas pequeños (10-100 ha)	Sistemas medianos (100-500 ha)	Sistemas grandes (>500 ha)
AUA que pagan tasas por el uso del agua	59 %	65 %	58 %	73 %
Regla principal de distribución de agua	Distribución de agua independiente de la superficie (49 %)	Distribución de agua independiente de la superficie (46 %)	Proporcional a la superficie (42 %)	Proporcional a la superficie (46 %)
Las AUA recibieron financiación externa para la captación de agua.	No (61 %)	No (74 %)	No (82 %)	No (64 %)
Las AUA tienen reconocimiento legal	56 %	60 %	71 %	64 %
Principal organización que ayuda a la construcción	Gobierno regional (49 %)	Gobierno regional (63 %)	Gobierno regional (63 %)	Gobierno regional (64 %)
Principal definición de los derechos de agua	Ganados (participación en la construcción) (54 %)	Comprados (59 %)	Comprados (60 %)	Comprados (55 %)
Tipo principal de derechos de agua	Vinculados a la parcela (49 %)	Vinculados a la parcela (55 %)	Vinculados a la parcela (73 %)	Vinculado a la parcela (73 %)
Disposición de la AUA para comprometerse externamente	Alta (66 %)	Alta (69 %)	Alta (69 %)	Alta (82 %)
Existen directrices internas de funcionamiento	Sí (61 %)	Sí (72 %)	Sí (68 %)	Sí (82 %)
Cumplimiento de las normas internas	Parcialmente (37 %)	Sí (38 %)	Sí (47 %)	Sí (73 %)
Principal práctica social prohibida ^{mo}	Compartir el agua (88 %)	Turnos de intercambio (98 %)	Turnos de intercambio (82 %)	Turnos de intercambio (100 %)

^{mo} = Los encuestados podían seleccionar varias opciones para los factores marcados con (*mo*) en la encuesta original; los porcentajes reflejan la frecuencia de selección de cada opción. "Principal" indica la respuesta más frecuente.

Otro hallazgo inesperado es que, en un gran número de sistemas de riego, los agricultores no pagan tarifas por el agua. Según la legislación ecuatoriana especificada en el artículo 116 del Reglamento Ley Recursos Hídricos y Aprovechamiento del Agua (Correa, 2015), todos los usuarios del agua están obligados a pagar tasas por el uso del agua. Este hallazgo pone de relieve la débil aplicación de la normativa. Aunque más del 40% de los sistemas no imponen tarifas en absoluto, cabe destacar que los grandes sistemas cumplen esta normativa. La aplicación de estos cánones pretende fomentar la independencia de las AUA en la gestión de los sistemas de riego y reducir su dependencia de instituciones externas para la inversión y el mantenimiento de las infraestructuras. Esta independencia pretende, en última instancia, mejorar la eficacia de la distribución del agua.

Se necesita un cambio hacia una gobernanza participativa, que incorpore principios de fijación de precios justos diseñados para cubrir costes integrales como la planificación, la adaptación al clima y el mantenimiento (WWAP, 2019). Sin embargo, una parte integral del éxito de dicha gobernanza es la prevención activa de las ineficiencias de gestión, que se identifican como factores clave que pueden aumentar la vulnerabilidad del sistema y obstaculizar la gestión adecuada del agua (Pacheco-Peña et al., 2023).

Además, más del 70% de los sistemas de riego funcionan de forma independiente, sin acuerdos de colaboración con instituciones externas. Esta independencia, combinada con el incumplimiento de las tarifas de uso del agua, a menudo dificulta una gestión eficaz del riego. Aunque una mayoría significativa de las AUA expresa su voluntad de colaborar con instituciones externas, hay casos notables en los que las AUA dudan en participar en los esfuerzos de colaboración. La reticencia observada en algunas AUA es un factor crítico a tener en cuenta por los responsables de la toma de decisiones. Para evitarlo, los responsables de la toma de decisiones deberían centrarse en dos acciones clave: 1) apoyar activa y rápidamente a las AUA que estén dispuestas a colaborar, incluyendo el fomento de oportunidades para las ONG, y 2) iniciar un proceso de diálogo diseñado para comprender y abordar las reservas de aquellas AUA que se muestren reticentes. Al abordar estos retos de gobernanza, los

responsables de la toma de decisiones eligen esencialmente entre un espectro de acciones, como sugiere la FAO (2024). Las opciones van desde trabajar dentro de las estructuras de poder existentes hasta implementar cambios más transformadores que alteren la influencia de los diferentes actores (por ejemplo, fortalecer las AUA). Esta elección entre el ajuste incremental y la reforma estructural es fundamental, ya que afecta a la viabilidad y al impacto final de las mejoras en la gobernanza.

Encontramos que los agricultores pueden adquirir derechos de uso del agua por diversos medios. Además de los pagos, los derechos de agua pueden obtenerse contribuyendo con mano de obra a la construcción de sistemas de riego o por herencia. En los sistemas más grandes, la participación en la legalización de los sistemas de riego sirve como vía alternativa para obtener derechos de agua. Además, la vinculación de los derechos de agua a la tierra o a los individuos conduce a pagos no equitativos, ya que los derechos de los individuos pueden utilizarse en múltiples parcelas. Por otra parte, el agua asignada a las parcelas de los usuarios no tiene en cuenta la superficie de la parcela, lo que puede dar lugar a una cantidad insuficiente o excesiva de agua para las actividades agrícolas y ganaderas. Abordar estas complejidades de manera eficaz probablemente requiera un análisis multicriterio dentro de un marco de cogestión, involucrando a todos los actores para desarrollar sistemas de asignación y derechos que promuevan tanto la sostenibilidad como la eficiencia (Rivera, 2016), reconociendo el papel del agua en la soberanía alimentaria y las economías locales (Pacheco-Peña et al., 2023).

A pesar de la presencia de reglamentos internos y lineamientos internos de operación del sistema de riego, especialmente en los micro y pequeños sistemas, su cumplimiento es a menudo inexistente, lo que indica una deficiencia en la gobernanza necesaria para una gestión eficaz y sostenible. Esta falta de funcionamiento adecuado conduce a la desorganización, especialmente en la distribución del agua durante los turnos de riego.

Aunque los usuarios de los sistemas de riego no intercambian turnos de agua por productos, trabajo o préstamos, la falta de una normativa clara permite a un porcentaje significativo de usuarios acceder al agua de otros. El reparto del agua lo deciden a

menudo los usuarios, sobre todo en los sistemas más grandes. Se trata de un aspecto importante de la gobernanza y la gestión técnica. Se necesitan más estudios para analizar cómo pueden mejorarse estas prácticas para mejorar la gestión del riego.

En la Tabla 5 se enumeran los distintos parámetros relacionados con los usuarios. Los usuarios de todos los sistemas de riego reconocen que el principal problema son las infraestructuras, pues se acentúan a medida que crece el sistema de riego debido a la acumulación de sedimentos y a la gran necesidad de mantenimiento constante. Un tema importante es la ausencia generalizada de operadores formados para los sistemas de riego. Cuando se designa a alguien para esta función, a menudo carece de la formación adecuada y confía en cambio en una experiencia limitada. Aunque algunos usuarios han recibido formación en áreas como la gestión técnica; aspectos socio-organizativos; y administración, operación y mantenimiento, muy pocos usuarios de micro, pequeños y medianos sistemas han accedido a esta formación. En cambio, los sistemas más grandes parecen tener mejores estructuras organizativas; sin embargo, casi la mitad de ellos no cuentan con un operador de riego, y de los que sí lo tienen, más de la mitad no están bien capacitados para desempeñar la tarea.

Los horarios de riego suelen ser tanto diurnos como nocturnos. Esto puede plantear problemas importantes en cuanto al uso correcto del agua, sobre todo cuando el riego se produce por la noche. Las pérdidas de agua son mayores en los sistemas en los que el riego no está presurizado y carecen de tecnología de control automático. Además, pueden desencadenar movimientos en masa y deslizamientos de tierra. Es crucial abordar estos problemas implantando tecnologías de riego avanzadas que permitan un control preciso del agua. Además, establecer directrices claras e impartir formación sobre prácticas de riego óptimas puede ayudar a mitigar el despilfarro de agua y prevenir los deslizamientos de tierra. Los responsables de la toma de decisiones deberían dar prioridad a la adopción de sistemas de riego automatizados y apoyar iniciativas que mejoren los conocimientos técnicos de los agricultores y los operadores de los sistemas de riego.

Sin embargo, un punto fuerte clave en todos los sistemas de riego es el capital social que facilita el trabajo colectivo a través de las mingas por el bien

común. De hecho, las mingas son el método principal para el mantenimiento del sistema y otras actividades. Esta dependencia de la acción colectiva, arraigada en las normas locales de reciprocidad y confianza, es crucial para la gestión y adaptación de los sistemas de riego andinos, un hallazgo respaldado por la investigación tanto en los Andes venezolanos (Leroy et al., 2022) como en el altiplano ecuatoriano (Hoogesteger, 2015).

3.3 Limitaciones del estudio

Este estudio se basa en los datos de una encuesta realizada en el 2022 por el Gobierno Provincial del Azuay. Si bien esta fuente de datos ofrece valiosas perspectivas regionales sobre los sistemas de riego, conlleva a limitaciones inherentes que deben señalarse.

La principal limitación se deriva del método de recopilación de datos. La información se recopiló de los representantes de las AUA. Aunque estas personas suelen estar bien informadas sobre sus respectivos sistemas, es posible que sus puntos de vista no abarquen plenamente las diversas experiencias y opiniones de todos los usuarios individuales del agua. Además, las respuestas podrían estar influenciadas por sus funciones de liderazgo, lo que podría introducir cierto grado de subjetividad. En consecuencia, los datos relativos a temas cuantitativos específicos o potencialmente sensibles, como la productividad o los ingresos de las parcelas individuales, podrían reflejar estimaciones en lugar de cifras precisas, ya que es posible que los representantes no posean o compartan información completa de todos los miembros.

Además, la selección de representantes de las AUA como encuestados podría introducir un sesgo de género significativo. Si estos representantes fueran predominantemente hombres -una situación común en este tipo de organizaciones-, la encuesta no captaría las perspectivas de las mujeres sobre aspectos cruciales como la participación en la toma de decisiones o sus opiniones sobre la eficacia y la equidad de la gestión del sistema de riego. En consecuencia, es posible que los resultados no representen plenamente las experiencias y puntos de vista de toda la comunidad de usuarios, en particular en lo que respecta a los retos o prioridades específicos de cada sexo.

Tabla 5. Evaluación de los factores de los “Usuarios” que influyen en la sostenibilidad en cuatro tipos de Sistemas de Riego. Se permiten múltiples respuestas; los totales pueden superar el 100 %.

Factores usuarios	Microsistemas (<10 ha)	Sistemas pequeños (10-100 ha)	Sistemas medianos (100-500 ha)	Sistemas grandes (>500 ha)
Principal preocupación del sistema	Infraestructuras (42 %)	Infraestructuras (63 %)	Infraestructuras (58 %)	Infraestructuras (91 %)
Solución principal considerada	Mejora de las infraestructuras (59 %)	Mejora de las infraestructuras (68 %)	Mejora de las infraestructuras (66 %)	Mejora de las infraestructuras (82 %)
Principal problema actual de funcionamiento y mantenimiento ^{mo}	Daños en la acequia principal (59 %)	Daños en la acequia principal (80 %)	Daños en la acequia principal (84 %)	Daños en la acequia principal (91 %)
Horario de riego (variable día/noche)	(63 %)	(72 %)	(87 %)	(100 %)
El sistema tiene operador	No (78 %)	No (82 %)	No (65 %)	No (55 %)
Operador considerado como calificado	Sí (50 %)	Sí (73 %)	Sí (80 %)	Sí (60 %)
Operario formado	No (100 %)	No (64 %)	No (65 %)	No (40 %)
Otros usuarios recibieron formación para operar	No (68 %)	No (80 %)	No (71 %)	No (64 %)
Principal tema de formación de usuarios recibido	Administración, funcionamiento y mantenimiento (17 %)	Administración, explotación y mantenimiento (15 %)	Administración, explotación y mantenimiento (8 %)	Gestión técnica del sistema (36 %)
Principal método de mantenimiento	Esfuerzo colectivo de los usuarios (“minga”) (90 %)	Esfuerzo colectivo de los usuarios (“minga”) (94 %)	Esfuerzo colectivo de los usuarios (“minga”) (89 %)	Esfuerzos colectivos de los usuarios (“minga”) (100 %)

^{mo} = Los encuestados podían seleccionar varias opciones para los factores marcados con (*mo*) en la encuesta original; los porcentajes reflejan la frecuencia de selección de cada opción. “Principal” indica la respuesta más frecuente.
Minga: Palabra de origen quechua que hace referencia a un esfuerzo colectivo por el bien común.

A pesar de estas limitaciones, los datos de la encuesta proporcionan una valiosa evaluación del estado de la gobernanza y la infraestructura de riego en Azuay. Los resultados identifican con éxito los retos clave y las áreas prioritarias, ofreciendo una orientación esencial para la investigación específica y el desarrollo de políticas en el futuro. Este estudio también pone de manifiesto la necesidad de una recopilación de datos posterior y más sistemática, que potencialmente incorpore un muestreo estratificado a nivel de usuario individual y métodos diseñados para captar diversas perspectivas, con el fin de apoyar una gestión sólida y equitativa de los recursos hídricos a largo plazo.

4 Conclusiones

Tras un análisis exhaustivo de los factores comparativos entre los sistemas de regadío, se identificaron varios puntos críticos relativos a su gestión y sostenibilidad, que requieren un seguimiento y una mayor investigación. La gobernanza eficaz ha surgido como la principal preocupación, ya que influye en la administración del sistema, la obtención de fondos, la recaudación de tasas y la estabilidad a largo plazo. Sin estructuras de gobernanza sólidas, estos sistemas tienen dificultades para funcionar eficazmente. La distribución equitativa del agua es otro tema importante; las autoridades deben actualizar y regular el suministro de agua para garantizar que los sistemas reciban la cantidad técnicamente necesaria de las fuentes disponibles, adoptando un en-

foque técnico-ambiental de la asignación del agua.

La falta de gobernanza dificulta aún más la sostenibilidad del sistema. Los sistemas sin gobernanza no pueden recaudar los fondos necesarios para su funcionamiento y mantenimiento, ni establecer un equipo técnico para la gestión diaria y las funciones de asesoramiento, ni crear normas de funcionamiento ni conseguir un estatuto jurídico. El papel del gobierno regional y del Ministerio de Agricultura es crucial para apoyar estos sistemas proporcionando formación continua a los operadores, apoyo legal constitucional y acceso a los mercados.

Además, en un número significativo de sistemas, la producción agrícola ya no es la principal fuente de ingresos, lo que pone en peligro la seguridad alimentaria. Por lo tanto, el abordaje de problema requiere una intervención específica por parte de las instituciones públicas. La vulnerabilidad del sistema también es evidente: si falla la recaudación de tasas, el sistema deja de funcionar; si el operador no está disponible, no hay sustituto; sin normas de funcionamiento, los procedimientos no están claros; y en las sequías, la escasez de agua se vuelve crítica.

Es necesario un seguimiento sistemático, ya que las condiciones pueden cambiar. La supervisión anual ayudará a observar la evolución del sistema, analizar el impacto de las políticas e intervenciones y evaluar los efectos del clima y las condiciones socioeconómicas, como la migración. Es esencial desarrollar indicadores de rendimiento adaptados a las realidades locales. Al abordar estas áreas clave, los responsables de la toma de decisiones pueden emprender acciones específicas para mejorar la gestión y la sostenibilidad de los sistemas de riego, apoyando en última instancia la resiliencia y la productividad del sector agrícola.

Agradecimientos

Este estudio forma parte del proyecto SDGnexus Network (número de subvención 57526248), financiado por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) con el apoyo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) en el marco del programa "exceed - Excelencia en la Cooperación al Desarrollo". La Universidad de Cuenca cofinanció esta investigación a través del Vi-

correctorado de Investigación. Agradecemos al Gobierno Provincial del Azuay por la base de datos de sistemas de riego. Agradecemos los comentarios constructivos de dos revisores anónimos, que ayudaron a mejorar el manuscrito.

Contribuciones de los autores

G.B.: Conceptualización, metodología, análisis formal, curación de datos, redacción del borrador original. R.C.: Conceptualización, metodología, obtención de fondos, redacción-revisión y edición.

Referencias

- Abdullaev, I., Assubayeva, A., Bobojonov, I., Djanibekov, N., Dombrowsky, I., Gafurov, A., Hamidov, A., Herrfahrtd-Pähle, E., Janusz-Pawletta, B., Ishangulyyev, R., Kasymov, U., Mirkasimov, B., Petrick, M., Strobehn, K., and Ziganshina, D. (2025). Current challenges in central asian water governance and their implications for research, higher education, and science-policy interaction. *Central Asian Journal of Water Research*, 11(1):47–58. Online: <https://bit.ly/4obHzYv>.
- Alexandratos, N. and Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision. resreport 12-03, ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO., Roma.
- Berhe, G., Baartman, J., Veldwisch, G., Grum, B., and Ritsema, C. (2022). Irrigation development and management practices in ethiopia: A systematic review on existing problems, sustainability issues and future directions. *Agricultural Water Management*, 274:107959. Online: <https://bit.ly/3IRYclz>.
- Bjornlund, H., van Rooyen, A., Pittock, J., and Bjornlund, V. (2023). Research and development needs in agricultural water management to achieve sustainable development goals. *Irrigation and Drainage*, 72(5):1260–1268. Online: <https://bit.ly/3ISz7Nw>.
- Campozano, L., Célleri, R., Trachte, K., Bendix, J., and Samaniego, E. (2016). Rainfall and cloud dynamics in the andes: A southern ecuador case study. *Advances in Meteorology*, 72(5):1–15. Online: <https://bit.ly/4fa7J9P>.

- Celleri, R., Willems, P., Buytaert, W., and Feyen, J. (2007). Space-time rainfall variability in the paute basin, ecuadorian andes. *Hydrological Processes*, 21(24):3316–3327. Online: <https://bit.ly/3U02fVB>.
- Communal, T., Faysse, N., Bleuze, S., and Aceldo, B. (2016). Effects at farm and community level of the adoption of sprinkler irrigation in the ecuadorian andes. *Irrigation and Drainage*, 65(4):559–567. Online: <https://bit.ly/3Uo6jzf>.
- Correa, R. (2015). Decreto 650: Reglamento ley recursos hídricos y aprovechamiento del agua. Decreto, Gobierno de Ecuador, Quito.
- ESPAC (2023). Módulo de información ambiental y tecnificación agropecuaria. Webpage.
- FAO (2016). Water for sustainable food and agriculture. Webpage.
- FAO (2020). The state of food and agriculture 2020. overcoming water challenges in agriculture. Webpage.
- FAO (2024). Water auditing/water governance analysis—governance and policy support: Methodological framework. Webpage.
- Gómez-Ceballos, G., Vázquez-Loaiza, J., Herrera-Torres, D., and Vega-Luna, A. (2021). Popular and solidarity economy: Policies and realities in the local context—the case of the agricultural productive associations of el valle, ecuador. *Sustainability*, 13(23):13469. Online: <https://bit.ly/4l3R2hE>.
- GPA (2018). Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del azuay. techreport, Gobierno Provincial del Azuay, Cuenca.
- GPA (2019). Revista agroazuay. techreport, Gobierno Provincial del Azuay, Cuenca.
- Gutierrez, J., Villa-Medina, J., Nieto-Garibay, A., and Porta-Gandara, M. (2014). Automated irrigation system using a wireless sensor network and gprs module. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(1):166–176. Online: <https://bit.ly/455mRkd>.
- Hoogesteger, J. (2013). Trans-forming social capital around water: Water user organizations, water rights, and nongovernmental organizations in cangahua, the ecuadorian andes. *Society & Natural Resources*, 26(1):60–74. Online: <https://bit.ly/4f8Ebta>.
- Hoogesteger, J. (2015). Normative structures, collaboration and conflict in irrigation; a case study of the pillaro north canal irrigation system, ecuadorian highlands. *International Journal of the Commons*, 9(1):398–415. Online: <https://bit.ly/4lU7dQ1>.
- Leroy, D. (2019). Farmers' perceptions of and adaptations to water scarcity in colombian and venezuelan páramos in the context of climate change. *Mountain Research and Development*, 39(2):R21–R34. Online: <https://bit.ly/3H9txpt>.
- Leroy, D., García, S. B., and Porto Tapiquén, E. (2022). Understanding institutional changes in irrigation management: a comparative case study of two communities in the venezuelan andes. *Water International*, 47(8):1287–1309. Online: <https://bit.ly/4mfWVJw>.
- Li, M., Xu, Y., Fu, Q., Singh, V. P., Liu, D., and Li, T. (2020). Efficient irrigation water allocation and its impact on agricultural sustainability and water scarcity under uncertainty. *Journal of Hydrology*, 586(1-2):124888. Online: <https://bit.ly/3IS6xMn>.
- López-Carr, D., Martinez, A., Bilsborrow, R. E., and Whitmore, T. M. (2017). Geographical and individual determinants of rural out-migration to a tropical forest protected area: The maya biosphere reserve, guatemala. *Cybergeo: European Journal of Geography*, 8(2):78–106. Online: <https://bit.ly/45sncyI>.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press.
- Pacheco-Peña, D., Lema-Quinga, L., and Yáñez-Moretta, P. (2023). Cogestión del agua entre actores públicos y comunitarios como herramienta de adaptación al cambio climático global: el caso de la comuna santa clara de san millán, dm quito. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 37(1):44–57. Online: <https://bit.ly/3H8RWvq>.
- Parry, K., van Rooyen, A. F., Bjornlund, H., Kissoly, L., Moyo, M., and de Sousa, W. (2020). The importance of learning processes in transitioning small-scale irrigation schemes. *International Journal of*

- Water Resources Development*, 36(sup1):S199–S223. Online: <https://bit.ly/3U3LcSt>.
- Rebaï, N. (2017). Vulnerabilidad de la agricultura familiar y de los territorios rurales en los andes ecuatorianos. un análisis desde la provincia del azuay. *Ecuador Debate*, 100:167–177. Online: <https://bit.ly/4odD0wC>.
- Rivera, S. (2016). La sostenibilidad del recurso hídrico en el ecuador: análisis multicriterial de la gestión del agua. mathesis, Tesis de Maestría en Economía Ecológica. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Sauer, T., Havlík, P., Schneider, U., Schmid, E., Kindermann, G., and Obersteiner, M. (2010). Agriculture and resource availability in a changing world: The role of irrigation. *Water Resources Research*, 46(W06503):Online: <https://bit.ly/4785P7J>.
- Sirimewan, D., Mendis, A., Rajini, D., Samaraweera, A., and Manjula, N. (2021a). Analysis of issues in sustainable water management of irrigation systems: case of a developing country. *Built Environment Project and Asset Management*, 11(4):529–543. Online: <https://bit.ly/44UIPc7>.
- Sirimewan, D., Samaraweera, A., Manjula, N., Rameezdeen, R., Rodrigo, M., and Ekanayake, E. (2021b). Strategies for sustainable irrigation system management: a socio-technical system approach. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(2):436–455. Online: <https://bit.ly/45fACgx>.
- Tenesaca, C., Quindi, T., Delgado, G., Toledo, E., and Delgado, O. (2017). Generación del mapa de cobertura y uso del suelo de la provincia del azuay. *Universidad Verdad*, 1(73):23–37. Online: <https://bit.ly/4mhthUi>.
- United Nations (2021). Summary progress update 2021: Sdg 6- water and sanitation for all. Webpage.
- United Nations (2023). The united nations world water development report 2023: Partnerships and cooperation for water. Webpage.
- van Rooyen, A. F., Ramshaw, P., Moyo, M., Stirzaker, R., and Bjornlund, H. (2017). Theory and application of agricultural innovation platforms for improved irrigation scheme management in southern africa. *International Journal of Water Resources Development*, 33(5):804–823. Online: <https://bit.ly/45aOCb0>.
- Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., van Vliet, M., Yillia, P., Ringler, C., Burek, P., and Wiberg, D. (2016). Modeling global water use for the 21st century: the water futures and solutions (wfas) initiative and its approaches. *Geoscientific Model Development*, 9(1):175–222. Online: <https://bit.ly/41cojAa>.
- Wisser, D., Frohking, S., Douglas, E., Fekete, B., Vörösmarty, C., and Schumann, A. (2008). Global irrigation water demand: Variability and uncertainties arising from agricultural and climate data sets. *Geophysical Research Letters*, 35(24):1–5. Online: <https://bit.ly/4fdsb9N>.
- WWAP (2019). Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. techreport, Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO.