

Gestión integral de la seguridad hídrica: diagnóstico, desafíos y alternativas multisectoriales para un uso sostenible del recurso

Comprehensive water security management: diagnosis, challenges, and multisectoral alternatives for sustainable use of the resource

Gestão integral da segurança hídrica: diagnóstico, desafios e alternativas multissetoriais para o uso sustentável do recurso

César Adrian Labeguerre Nakada¹, <https://orcid.org/0000-0002-2131-9091>

Cinthia Angélica Lapa Oré², <https://orcid.org/0009-0002-3185-6381>

Leticia Tapia-Oré³, <https://orcid.org/0009-0003-1739-2266>

¹Secretaría Nacional de Formación del Talento del Partido Morado, Perú

²Instituto de Investigación Geográfico Andino Rural

³Instituto de Investigación Geográfico Andino Rural, Perú

*Autor para correspondencia: labenak@gmail.com

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo analizar la situación hídrica del departamento de Ica (Perú), identificando los factores que agravan la escasez de agua y proponiendo estrategias integradas de gestión sostenible. Se empleó un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos: entrevistas semiestructuradas a funcionarios, especialistas y usuarios, así como encuestas aplicadas a 295 personas de zonas urbanas y rurales. El estudio reveló que la escasez de agua en Ica constituye un problema estructural agravado por la sobreexplotación de acuíferos, la débil infraestructura hídrica y la limitada coordinación institucional. Los actores coincidieron en la urgencia de promover soluciones conjuntas, como la recarga artificial de acuíferos, el reúso de aguas residuales, el control de pozos clandestinos y la modernización de canales de riego. Se concluyó que la seguridad hídrica en Ica requiere una gobernanza participativa y multisectorial, donde Estado, empresas y sociedad civil compartan responsabilidades para garantizar el acceso equitativo y sostenible al agua frente a los efectos del cambio climático.

Palabras clave: Seguridad hídrica, gestión multisectorial, escasez de agua, gobernanza sostenible

ABSTRACT

The research aimed to analyze the water situation in the department of Ica (Perù), identifying the factors that exacerbate water scarcity and proposing integrated sustainable management strategies. A mixed approach was used, combining qualitative and quantitative methods: semi-structured interviews with officials, specialists, and users, as well as surveys conducted with 295 people from urban and rural areas. The study revealed that water scarcity in Ica constitutes a structural problem exacerbated by the overexploitation of aquifers, weak water infrastructure, and limited institutional coordination. Stakeholders agreed on the urgent need to promote joint solutions, such as artificial aquifer recharge, wastewater reuse, control of illegal wells, and modernization of irrigation canals. It was concluded that water security in Ica requires participatory and multisectoral governance, where the State, businesses, and civil society share responsibilities to ensure equitable and sustainable access to water in the face of the effects of climate change.

Keywords: Water security, multi-sectoral management, water scarcity, sustainable governance

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo analisar a situação hídrica no departamento de Ica (Peru), identificando os fatores que agravam a escassez hídrica e propondo estratégias integradas de gestão sustentável. Utilizou-se uma abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos: entrevistas semiestruturadas com autoridades, especialistas e usuários, além de pesquisas realizadas com 295 pessoas de áreas urbanas e rurais. O estudo revelou que a escassez

hídrica en Ica constitui um problema estrutural agravado pela superexploração de aquíferos, infraestrutura hídrica precária e coordenação institucional limitada. As partes interessadas concordaram com a necessidade urgente de promover soluções conjuntas, como recarga artificial de aquíferos, reuso de águas residuais, controle de poços ilegais e modernização de canais de irrigação. Concluiu-se que a segurança hídrica em Ica requer governança participativa e multissetorial, onde o Estado, as empresas e a sociedade civil compartilham responsabilidades para garantir o acesso equitativo e sustentável à água diante dos efeitos das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Segurança hídrica, gestão multissetorial, escassez hídrica, governança sustentável

Recibido: 23/9/2025 Aprobado: 6/10/2025

Introducción

El departamento de Ica, uno de los desiertos más áridos de Sudamérica, se ha convertido en un polo agroexportador de primer orden sustentado casi por completo en acuíferos costeros. El rápido crecimiento de cultivos de alto valor, uvas, espárragos, arándanos, ha intensificado la demanda de agua, presionando el balance hídrico y generando descensos sostenidos del nivel freático, con implicancias para el abastecimiento urbano, la industria y los ecosistemas frágiles de humedales y lomas costeras (Salmoral *et al.*, 2020). Abordar esta tensión exige un marco de seguridad hídrica que permita diagnosticar la disponibilidad, la calidad, los riesgos y la gobernanza del recurso, y que reconozca la interdependencia entre sectores y territorios. En este contexto, Ica ofrece un laboratorio crítico para evaluar hasta qué punto la expansión agroexportadora puede conciliarse con la sostenibilidad del acuífero y con un acceso equitativo al agua (Schwarz, 2017; Vázquez-Rowe *et al.*, 2016). Adoptamos una noción de seguridad hídrica como la capacidad de un territorio para garantizar agua suficiente, de calidad y asequible para usos humanos y ambientales, al tiempo que se gestiona el riesgo y se preservan los ecosistemas. Esta visión requiere superar enfoques sectoriales aislados e incorporar información hidrológica, económica e institucional para orientar decisiones públicas y privadas. En territorios hiperaridizados con fuerte dependencia subterránea, como Ica, el diagnóstico debe integrar métricas de estrés (p. ej., tendencias de almacenamiento subterráneo y balance extracción-recarga), gobernanza (asignación, fiscalización, coordinación interinstitucional) y vulnerabilidad social. La evidencia internacional muestra que evaluar estrés hídrico subterráneo con GRACE, junto con medidas de uso y disponibilidad, es clave para guiar políticas en sistemas sobre-explotados, en especial cuando la expansión agrícola y la variabilidad climática disminuyen la resiliencia del sistema (Richey *et al.*, 2015; Scanlon *et al.*, 2012). La variabilidad y el cambio climático amplifican los riesgos. En la costa peruana, episodios de El Niño costero, como 1925 y 2017, han provocado lluvias intensas, desbordes y afectaciones sanitarias y económicas; a futuro, la frecuencia de eventos extremos de El Niño podría incrementarse bajo calentamiento global, reconfigurando los balances hídricos y las infraestructuras (Cai *et al.*, 2014). Estos choques hidrometeorológicos alternan con años secos prolongados, reforzando la necesidad de almacenamiento (natural y antrópico), planes de contingencia y gestión por riesgos. Para Ica, esto implica diseñar esquemas que amortigüen tanto el exceso como la escasez y que protejan la calidad del agua ante aportes difusos y descargas no tratadas durante eventos extremos (Takahashi *et al.*, 2019; Echevin *et al.*, 2018; Yglesias *et al.*, 2023). En el acuífero Ica, múltiples estudios documentan un descenso sostenido del nivel piezométrico asociado a extracciones agrícolas crecientes y a una limitada recarga natural por la aridez regional (Salmoral *et al.*, 2020). Análisis de sostenibilidad y modelación hidrológica coinciden en que la intensificación del riego y la expansión de área cosechada han sobrepasado la capacidad de recuperación del sistema, con riesgos de salinización, mayores costos de bombeo y conflictos por el agua (Fernández *et al.*, 2020; Pronti *et al.*, 2024). Evidencia reciente basada en GRACE (2003–2023) sugiere tendencias de agotamiento subterráneo en zonas costeras del Perú, enfatizando la urgencia de gestión adaptativa y límites efectivos de extracción. (Gonzales *et al.*, 2025; Schwarz, 2017). La huella hídrica de los cultivos líderes en Ica es elevada y depende de agua “azul” (subterránea), por lo que la elección de portafolios agrícolas, calendarios de siembra, tecnologías de riego y productividad por gota es decisiva. Estudios de evaluación ambiental del espárrago en ambientes hiperáridos y de la uva/arándano muestran que la eficiencia por unidad de producto no siempre se traduce en menor presión de cuenca cuando la superficie y el valor exportado crecen, y cuando los retornos del riego son reducidos (Esteve *et al.*, 2022). Un enfoque de seguridad hídrica debe cruzar métricas de eficiencia con límites biofísicos de cuenca y huellas hídricas sectoriales y de consumo (comercio virtual de agua). (Vázquez *et al.*, 2016, 2017; Mekonnen & Hoekstra, 2011; Hoekstra & Mekonnen, 2012)



Figura 1. Evolución del nivel mundial de estrés hídrico (2015-2021)

Nota. Adaptado de Progress on the Level of Water Stress 2024 (FAO & UN-Water, 2024)

A esta presión cuantitativa se suman riesgos de calidad (nutrientes, plaguicidas, salinidad) que comprometen usos potables y ambientales y encarecen el tratamiento. La literatura internacional subraya que la reutilización segura de aguas residuales y el control de nutrientes pueden reducir la carga difusa y cerrar ciclos en territorios áridos, siempre que existan estándares y monitoreo robustos (Jaramillo & Restrepo, 2017). En Ica, donde gran parte del recurso proviene del subsuelo y donde las descargas urbanas y agrícolas convergen en un entorno de baja dilución, fortalecer la vigilancia de calidad y promover esquemas de reúso para riego de áreas verdes e industrias no alimentarias puede liberar agua de mayor calidad para consumo humano y ecosistemas (Mishra *et al.*, 2023; Rice *et al.*, 2016; Vázquez-Rowe *et al.*, 2017).

En términos institucionales, los arreglos de gobernanza explican buena parte de los resultados: fragmentación normativa, débil fiscalización de extracciones, escasa contabilidad del agua y asimetrías de poder entre actores derivan en asignaciones poco transparentes y en disputas a lo largo de la cuenca (Budds & Hinojosa, 2012). Casos peruanos documentan cómo la reconfiguración de escalas y la coproducción de “hidro-paisajes” por empresas y Estado pueden excluir a usuarios vulnerables si no median acuerdos cooperativos y mecanismos de reparto claros. Para la seguridad hídrica de Ica, es estratégico articular acuerdos altoandinos–costa (trasvases, caudales ecológicos, compensaciones) e incorporar indicadores de desempeño institucional y equidad en la toma de decisiones (Gómez *et al.*, 2023; Dai *et al.*, 2022; Underhill, 2023).

Además, mejoras tecnológicas sin límites efectivos pueden derivar en el “paradigma de la eficiencia”: incrementar la eficiencia de riego a escala predial no reduce necesariamente el consumo a escala de cuenca por expansión de superficie o cambio hacia cultivos más intensivos, el llamado “efecto rebote” (Grafton *et al.*, 2018; Lankford *et al.*, 2023). La evidencia muestra que las políticas deben combinar eficiencia con mediciones y contabilidad rigurosas, topes de extracción y señales económicas/institucionales que eviten que el “agua ahorrada” sea inmediatamente re-asignada a usos más intensivos. Esto es particularmente relevante en Ica, donde la tecnificación convive con señales débiles de control volumétrico. (Xiong *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2022; Pei *et al.*, 2024).

Frente a este diagnóstico, un portafolio de alternativas multisectoriales puede aumentar la resiliencia: (i) gestión adaptativa del bombeo con cuotas y monitoreo continuo; (ii) almacenamiento natural y recarga gestionada de acuíferos (MAR) donde la geología lo permita; (iii) reúso seguro para usos no potables urbanos e industriales; (iv) diversificación de la matriz agrícola hacia combinaciones de cultivos menos demandantes en periodos críticos; y (v) acuerdos cooperativos sierra-costa que habiliten inversiones conjuntas en infraestructura verde y gris. Experiencias en Perú y la región muestran viabilidad técnica y social de esquemas de recarga y co-gestión si se integran conocimientos locales y ciencia aplicada, y si se alinean incentivos. (Fernández *et al.*, 2020; Angelakis *et al.*, 2018; Oshun *et al.*, 2021).

Esta investigación propone un enfoque integral para Ica que combine métricas físico-hidrológicas (niveles, almacenamiento, calidad), análisis de demanda (huellas hídricas sectoriales, productividad del agua, estacionalidad), evaluación de riesgo climático (ENSO y extremos) y desempeño institucional (asignación, fiscalización, cooperación intergubernamental) (Salmoral *et al.*, 2020). El objetivo es construir rutas de acción que reduzcan el estrés subterráneo, aseguren el agua para consumo humano y ecosistemas, y mantengan la competitividad del tejido productivo bajo límites biofísicos claros. En suma, avanzar hacia una seguridad hídrica

robusta en Ica demanda políticas basadas en evidencia, instrumentos de control efectivos y una coordinación multisectorial que priorice la sostenibilidad intergeneracional del recurso. (Richey *et al.*, 2015; Grafton *et al.*, 2018; Pronti *et al.*, 2024).

Metodología

La investigación adoptó un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para abordar de manera integral el problema de la seguridad hídrica en el departamento de Ica. Desde la perspectiva cualitativa, se exploraron las percepciones, experiencias y conocimientos de los actores involucrados, tanto institucionales como comunitarios, acerca de la escasez del recurso hídrico, los conflictos entre sectores y las estrategias de adaptación implementadas en el territorio. En paralelo, el componente cuantitativo permitió identificar tendencias, correlaciones y patrones mediante la aplicación de encuestas estructuradas. Esta complementariedad metodológica facilitó un análisis amplio, que integró las dimensiones subjetivas del fenómeno con datos empíricos sobre disponibilidad, acceso y gestión del agua, consolidando así una visión holística del contexto hídrico regional.

El diseño de la investigación fue de tipo descriptivo y exploratorio, adecuado para examinar una problemática compleja como la gestión del agua sin alterar sus condiciones naturales. Se aplicó un diseño no experimental, puesto que no se manipularon variables, sino que se observó la realidad en su estado actual. El componente cualitativo adoptó la modalidad de estudio de caso, centrado en el departamento de Ica debido a su relevancia como escenario de estrés hídrico crítico. En el componente cuantitativo, se desarrolló una encuesta estructurada que permitió recolectar datos estadísticos sobre el acceso y uso del agua por parte de distintos grupos poblacionales, especialmente agricultores, consumidores urbanos y actores institucionales.

La muestra se definió con criterios intencionales y no probabilísticos. En el enfoque cualitativo, participaron diez informantes clave vinculados a la gestión y uso del recurso hídrico: cuatro funcionarios públicos (incluyendo representantes del Gobierno Regional de Ica, la Agencia Agraria, el MINAGRI-INIA y autoridades municipales) y seis usuarios pertenecientes a organizaciones agrarias y comunidades locales. En el componente cuantitativo, se aplicó la encuesta a 295 personas mayores de 25 años residentes en zonas afectadas por el déficit hídrico, de las cuales 182 eran mujeres y 113 varones. Este diseño permitió incorporar una mirada de género y territorial, considerando las diferencias en el acceso al agua entre ámbitos rurales y urbanos. El proceso de recolección de información se llevó a cabo entre julio y agosto de 2025, mediante entrevistas semiestructuradas y encuestas presenciales realizadas con consentimiento informado y confidencialidad garantizada.

Para el análisis de datos, las entrevistas fueron grabadas, transcritas y procesadas mediante el software Atlas.ti, lo que permitió identificar categorías emergentes, patrones discursivos y relaciones temáticas en torno a las causas y consecuencias de la escasez hídrica. A partir de la codificación abierta y axial, se construyeron redes de sentido que reflejaron las percepciones comunes y divergentes entre actores institucionales y comunitarios. En cuanto a la información cuantitativa, los datos recolectados se sistematizaron utilizando Microsoft Excel y Visio, lo que permitió organizar las respuestas, elaborar gráficos comparativos y realizar cruces entre variables sociodemográficas y niveles de acceso al agua. La triangulación entre ambos enfoques fortaleció la validez de los resultados y permitió interpretar el fenómeno desde una perspectiva integral, vinculando los factores ambientales, institucionales y sociales que influyen en la seguridad hídrica del departamento de Ica.

Resultados y Discusión

Percepción institucional sobre la escasez hídrica en Ica

Los funcionarios coinciden en señalar que la escasez hídrica en Ica es un tema altamente preocupante, que pone en riesgo no solo la sostenibilidad ambiental, sino también el desarrollo económico de la región. Uno de los entrevistados destaca que Ica, a pesar de ser reconocida por su capacidad productiva y bajos niveles de desempleo, depende críticamente del agua para mantener su dinámica agroexportadora. La falta de obras hídricas a gran escala y la dependencia de eventos climáticos como el Fenómeno del Niño agravan la vulnerabilidad del sistema hídrico regional.

Desde el enfoque técnico, especialistas del sector agrario, como los vinculados al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), enfatizan que la disponibilidad del agua es esencial para la investigación agrícola. La institución ha tenido que replantear su estrategia adaptando cultivos y semillas al cambio climático y la escasez hídrica. Esto evidencia una percepción institucional de que la escasez del recurso no es temporal, sino estructural, lo que obliga a reformular prácticas de investigación, producción y gestión territorial.

Si no tenemos el recurso hídrico, todo esto podría caer en cualquier momento. Por supuesto que estamos muy

preocupados. Si el gobierno central no realiza una obra hídrica importante en la región, especialmente en Ica, el riesgo es alto (Entrevistado 1)

Asimismo, se identificó un consenso sobre el hecho de que la explotación intensiva del acuífero para fines agroexportadores está debilitando progresivamente las fuentes hídricas, afectando especialmente a los pequeños agricultores. Los testimonios también advierten que el ciclo hídrico natural ya no es suficiente para sostener la demanda actual de agua, lo que incrementa la presión sobre autoridades locales y el gobierno central para ejecutar proyectos de infraestructura hídrica.

A pesar de ser un departamento agroexportadora, Ica está sufriendo escasez hídrica. Solo tenemos agua los meses de enero a marzo, y eso pone en riesgo a los pequeños agricultores. El acuífero está bajando, y ya lo advertían estudios anteriores: vienen tiempos difíciles (Entrevistado 2).

La mayoría de los usuarios consultados percibe que no hay suficiente agua para cubrir todos los usos en sus comunidades, ya sea para el consumo humano, la agricultura o las actividades económicas. Se reporta que en zonas urbanas de Ica el agua potable llega por horas, mientras que en las zonas rurales solo se dispone del servicio dos veces por semana. Esta situación es vista como crítica, especialmente en una región agrícola como Ica, donde el agua es esencial no solo para el sustento familiar, sino para el desarrollo económico local.

Uno de los problemas recurrentes señalados por los usuarios es la falta de infraestructura adecuada para el almacenamiento de agua, como represas o reservorios en las zonas altas. Se percibe que durante la temporada de lluvias el agua superficial discurre sin control y no se aprovecha eficientemente, lo que agrava la escasez en épocas secas. Ante esta situación, los usuarios consideran urgente que el Estado implemente megaproyectos de almacenamiento y gestión de agua, priorizando tanto el consumo humano como la actividad agrícola.

No hay suficiente agua para regar nuestros cultivos. Dependemos del agua de temporada y de la laguna Choclococha, que además tiene un costo. Muchas veces el agua llega tarde y se pierden los cultivos (Entrevistado 6).

Asimismo, varios testimonios apuntan a una mala administración del recurso hídrico por parte de las juntas de usuarios, señalando una deficiente distribución del agua y la poca sensibilidad de los dirigentes ante las necesidades reales de la población. La falta de equidad en el acceso y la demora en la entrega del agua, especialmente en sectores que dependen de fuentes como la laguna Choclococha (Huancavelica), ocasionan pérdidas de cultivos y aumentan la vulnerabilidad de los pequeños agricultores.

Tabla 1. Percepciones de funcionarios y usuarios sobre la escasez hídrica en Ica

Categoría	Desde los funcionarios y especialistas	Desde los usuarios (pobladores y agricultores)
Preocupación por la escasez hídrica	Alta preocupación por el impacto en la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico. Se considera una crisis estructural y no temporal.	Perciben la situación como crítica: no hay agua suficiente para consumo humano, agricultura o actividades económicas.
Impacto en la agricultura	Señalan que la escasez compromete el modelo agroexportador y afecta la innovación agrícola (INIA).	Afecta directamente su sustento agrícola. La escasez compromete cultivos y el desarrollo económico local.
Desigualdad en el acceso al agua	Reconocen que la sobreexplotación del acuífero beneficia al agroexportador y perjudica a los pequeños agricultores.	Los pequeños agricultores sienten que no tienen prioridad en el acceso al agua frente a grandes empresas agroexportadoras.
Limitaciones de infraestructura hídrica	Falta de obras hídricas a gran escala y baja inversión pública. Dependencia de fenómenos climáticos como El Niño.	Falta de reservorios o represas para almacenar agua. Agua superficial se desperdicia en temporada de lluvias.
Vulnerabilidad y gestión del recurso	Urge reformular la gestión territorial y la planificación hídrica a largo plazo.	Reclaman una intervención urgente del Estado para gestionar y priorizar el agua para las comunidades.
Rol del Estado y demandas	Se demanda mayor acción del gobierno central y autoridades locales para ejecutar proyectos estratégicos.	Exigen al Estado megaproyectos de captación y distribución de agua para garantizar el consumo humano y la agricultura.
Cambio climático	Se reconoce que el cambio climático agrava la escasez y obliga a adaptar prácticas productivas y de investigación.	Aunque no se menciona directamente, los testimonios evidencian que las variaciones climáticas afectan la disponibilidad del agua.

El crecimiento acelerado de la población urbana, la escasez de lluvias y la falta de infraestructura moderna agravan la presión sobre los acuíferos y los sistemas de distribución de agua. Funcionarios señalaron que la

infraestructura hídrica de la región fue diseñada para una población mucho menor, lo cual genera cuellos de botella en el abastecimiento, especialmente en contextos de sequía prolongada. Esta situación ha derivado en una reducción sostenida del nivel freático y en un incremento de los costos de acceso al recurso, afectando principalmente a los pequeños agricultores, quienes enfrentan altos gastos en agua, que en algunos casos representan hasta el 40 % de sus costos de producción. Estos impactos se relacionan directamente con el objetivo de identificar cómo el déficit hídrico afecta a los sectores agrícola, urbano e industrial.

Adicionalmente, los testimonios de los usuarios y especialistas destacan el creciente uso de aguas residuales o grises ante la falta de alternativas accesibles. Esta práctica, aunque necesaria en algunos casos, genera preocupación por los riesgos sanitarios y por su impacto ambiental. Al mismo tiempo, se observa que los grandes agroexportadores, a pesar de utilizar masivamente aguas subterráneas, cuentan con mayores recursos para implementar tecnologías de reúso y control, lo que agudiza la percepción de inequidad entre usuarios. Esta realidad contribuye a una distribución asimétrica del agua, afectando principalmente a los sectores más vulnerables y profundizando las brechas de acceso.

Asimismo, se identificó una brecha importante en el conocimiento y uso de tecnologías de ahorro de agua entre los distintos tipos de productores. Mientras las grandes empresas han incorporado sistemas tecnificados como el riego por goteo o sensores automáticos, los pequeños agricultores continúan utilizando métodos tradicionales como el riego por inundación, debido a la falta de recursos económicos y a la limitada difusión de programas de capacitación. Esta diferencia tecnológica no solo refleja una desigualdad estructural, sino que también repercute directamente en la eficiencia del uso del recurso hídrico y en la posibilidad de mitigar los efectos del déficit.

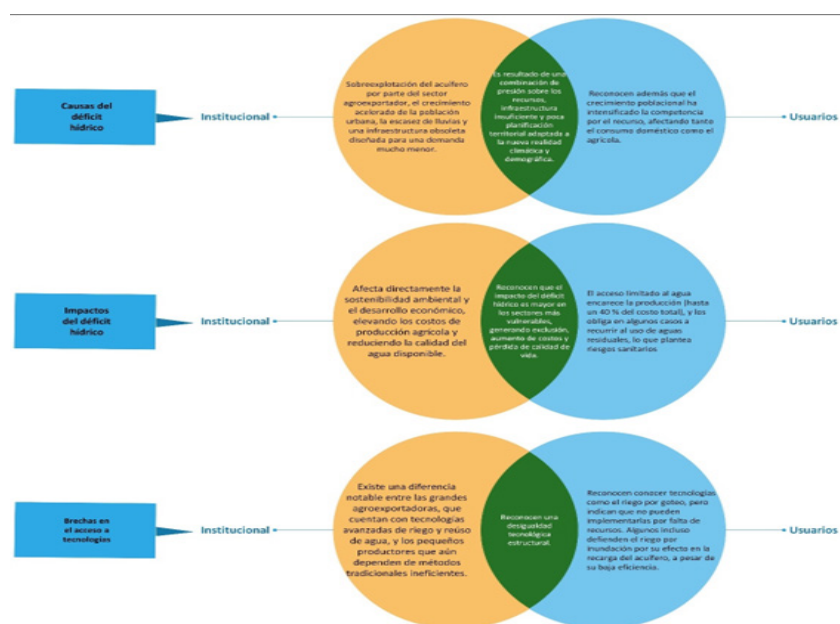


Figura 2. Triangulación desde la perspectiva de funcionarios, especialistas y usuarios sobre las principales causas del déficit hídrico y sus impactos en Ica

Los funcionarios entrevistados reconocieron que la escasez del recurso compromete simultáneamente la sostenibilidad ambiental y el crecimiento económico de la región, confirmando lo planteado por Salmoral *et al.* (2020) y Schwarz (2017), quienes describen a Ica como un polo agroexportador altamente dependiente de acuíferos costeros sobreexplotados. Esta coincidencia demuestra que el problema no se limita a la variabilidad climática o a coyunturas temporales, sino que responde a una estructura de uso intensivo y desigual del recurso. Los especialistas del INIA reforzaron esta lectura al señalar la necesidad de adaptar cultivos y prácticas agrícolas al déficit hídrico, lo que se alinea con los planteamientos de Richey *et al.* (2015) y Scanlon *et al.* (2012), quienes advierten que la sobreexplotación de acuíferos en sistemas áridos requiere monitoreo constante del balance extracción–recarga y políticas de gestión adaptativa. En este sentido, la percepción institucional refleja una comprensión técnica de la crisis hídrica como fenómeno estructural y multicausal, que exige respuestas planificadas más allá de la gestión sectorial.

Asimismo, la discusión permite identificar que la percepción institucional se enmarca en un contexto de alta vulnerabilidad climática y limitada infraestructura hídrica, lo cual coincide con los análisis de Cai *et al.* (2014) y Takahashi *et al.* (2019), quienes destacan el impacto creciente de eventos extremos como El Niño costero sobre los sistemas hídricos del Perú. Las autoridades locales reconocen que la falta de obras de almacenamiento y la dependencia de precipitaciones irregulares incrementan el riesgo de desabastecimiento, especialmente en

periodos secos prolongados. Esta preocupación se vincula con lo señalado por Vázquez-Rowe *et al.* (2016), quienes advierten que la sostenibilidad de la agroexportación iqueña depende de políticas integradas que equilibren producción y conservación.

Preocupación de los sectores por el déficit hídrico

Según testimonios de funcionarios y especialistas entrevistados, los sectores productivos y usuarios del agua en Ica muestran una profunda preocupación por el déficit hídrico, debido al rápido crecimiento poblacional y la limitada capacidad de la infraestructura hídrica para abastecer tanto a la población urbana como a las áreas agrícolas. Un funcionario señala que la infraestructura actual fue diseñada para una población mucho menor y que, con el crecimiento acelerado, la presión sobre los recursos hídricos ha aumentado considerablemente. La escasez de lluvias en las partes altas y la falta de obras que permitan recargar los acuíferos han contribuido al descenso del nivel freático, afectando tanto la cantidad como la calidad del agua.

Muchos de los fundos y pequeñas parcelas ya se han convertido en viviendas, y esto es por la falta de agua. El agricultor tiene que vender sus tierras porque no puede sostener la producción sin recursos hídricos (Entrevistado 3).

Desde el sector agrario, la preocupación es aún más crítica, ya que el agua es la base para la producción agrícola y las actividades de investigación. Instituciones como el INIA advierten que sin agua no se pueden desarrollar ni mantener los cultivos adaptados al cambio climático. La escasez también impacta la calidad de vida de los habitantes, ya que el acceso al agua potable se ve cada vez más comprometido, afectando a familias enteras y reduciendo las oportunidades de desarrollo en los sectores más vulnerables.

Cada vez el nivel freático desciende más. Dependemos de las lluvias y ya no se recupera el agua como antes. La calidad del agua también varía y eso nos preocupa mucho, tanto para la población como para la producción (Entrevistada 4).

La preocupación se extiende a los pequeños agricultores, quienes se ven forzados a vender sus parcelas ante la imposibilidad de continuar produciendo sin acceso al recurso hídrico. Este fenómeno está provocando una transformación del uso del suelo, pasando de tierras agrícolas a urbanizaciones, lo que agrava aún más el problema al aumentar la demanda de agua en zonas donde ya es escasa. Se identifica también una fuerte crítica a la sobreexplotación de los acuíferos por parte de grandes empresas agroexportadoras, lo que genera desequilibrio en el acceso y uso del agua.

Los testimonios desde los usuarios revelan una preocupación constante y generalizada por la escasez de agua, tanto para el consumo humano como para la agricultura. Los usuarios destacan que el acceso al agua se ha vuelto costoso y limitado, especialmente en zonas donde dependen de pozos tubulares o de las denominadas “aguas de avenida”. En algunos casos, el agua representa hasta el 40 % del costo total de producción agrícola, lo cual afecta seriamente la rentabilidad de los cultivos, en especial para productos como el algodón.

Nos preocupa mucho porque el agua subterránea se extrae con pozos caros, y el agua de avenida también tiene costo. En cultivos como algodón, el agua representa el 40 % del gasto total (Entrevistado 7).

También se menciona un creciente uso de aguas residuales o grises ante la falta de alternativas accesibles. Esta situación genera preocupación por los riesgos sanitarios y ambientales, ya que muchas agroexportadoras continúan utilizando masivamente aguas subterráneas, lo que incrementa el volumen de aguas negras y reduce la disponibilidad del recurso para otros usos. Esta dinámica refleja una distribución desigual del agua y un impacto negativo en los usuarios más vulnerables.

Además, existe una fuerte inquietud por el descenso del nivel freático y la disminución del caudal en los pozos, especialmente en los meses críticos como septiembre, octubre y noviembre. Los usuarios advierten que la napa freática ya no se repone como antes, lo que afecta el rendimiento de los pozos y compromete el acceso sostenible al recurso. Esta situación agrava el temor de enfrentar futuras sequías, tal como ocurrió en el pasado con eventos prolongados de escasez de hasta siete años, según recuerdan los agricultores más antiguos.

La veda se aplica solo a los pequeños. Los grandes siguen perforando pozos y agotando el acuífero. Es lo más grave: hay escasez, pero el agua se bota si el agricultor no puede pagar, y eso nos deja en crisis (Entrevistado 8).

Un tema recurrente es la percepción de desigualdad en la aplicación de la normativa hídrica, particularmente en torno a la veda del acuífero de Ica. Los usuarios denuncian que, si bien la veda impone restricciones, estas se aplican con mayor severidad a los pequeños agricultores, mientras que los grandes continúan perforando pozos y accediendo al recurso sin mayores limitaciones. Esta situación es vista como una injusticia que profundiza las brechas sociales y productivas en la región.

Tabla 2. Categorías de percepción preocupación de los sectores por el déficit hídrico

Categorías	Percepción desde funcionarios y especialistas	Percepción desde usuarios
Capacidad de infraestructura hídrica	La infraestructura actual es insuficiente para la población y sectores productivos crecientes.	La infraestructura no abastece adecuadamente, afectando el riego y el consumo humano.
Impacto en la producción agrícola	La escasez de agua impide el desarrollo y mantenimiento de cultivos adaptados al cambio climático.	La falta de agua hace inviable continuar con cultivos, afectando directamente a los pequeños agricultores.
Crisis de acceso al agua potable	Preocupa la creciente dificultad para garantizar agua potable a toda la población.	Familias enfrentan dificultad y altos costos para acceder a agua potable, especialmente en zonas rurales.
Transformación del uso del suelo	Se observa un cambio de uso de suelo de agrícola a urbano por la escasez hídrica.	Muchos se ven obligados a vender sus terrenos ante la imposibilidad de mantener la producción agrícola.
Sobreexplotación de acuíferos	Se critica la sobreexplotación de acuíferos por parte de empresas agroexportadoras.	El uso intensivo por agroexportadoras deja sin acceso a usuarios pequeños y medios.
Costos de producción agrícola	Reconocen que el costo del agua incrementa los gastos agrícolas y limita la sostenibilidad.	El agua puede representar hasta el 40% del costo de producción agrícola.
Uso de aguas residuales	Existe preocupación por el uso inadecuado de aguas residuales debido a la falta de acceso al recurso.	El uso de aguas grises se ha vuelto común, generando riesgos sanitarios.
Descenso del nivel freático	Se constata el descenso de la napa freática por la falta de lluvias y recarga natural.	Los pozos rinden menos y temen que ocurran nuevas sequías prolongadas.

Desde los usuarios rurales entrevistados, se valoró positivamente el impacto de iniciativas puntuales que permitieron acceder a tecnologías mediante apoyo externo, como el caso de Santa Dominguita, donde una ONG facilitó proyectos de irrigación. Sin embargo, también se advirtió que estas experiencias son excepcionales y no representan la realidad general del campo iqueño. Muchos agricultores reconocen que, si bien el riego por goteo ahorra agua, no contribuye a la recarga de acuíferos como lo haría el riego por inundación. Esta percepción evidencia una tensión entre eficiencia y sostenibilidad a largo plazo, y plantea la necesidad de evaluar no solo la viabilidad técnica, sino también la adaptabilidad territorial de estas tecnologías.

En cuanto a la recarga artificial de acuíferos y el reúso de aguas residuales, los actores institucionales destacan experiencias exitosas como las de algunas agroexportadoras que han reutilizado efluentes tratados para ampliar su frontera agrícola. No obstante, el acceso a estas prácticas se mantiene limitado a sectores con capacidad de inversión y respaldo institucional. A nivel local, los pequeños agricultores no cuentan con plantas de tratamiento, ni con incentivos claros para adoptar tecnologías de reúso, lo que perpetúa su dependencia de fuentes subterráneas cada vez más sobreexplotadas. La falta de mecanismos de financiamiento y de normativas específicas también ha dificultado la ampliación de estas tecnologías en el ámbito comunitario.

Figura 3. Triangulación desde la perspectiva de funcionarios, especialistas y usuarios sobre experiencias y tecnologías implementadas en el reúso de aguas residuales.



La preocupación expresada por los sectores productivos y sociales de Ica tiene fundamentos empíricos y científicos sólidos, al coincidir con estudios recientes que advierten un descenso sostenido del nivel freático y una sobreexplotación de los acuíferos del valle de Ica–Villacurí. Las percepciones recogidas reflejan la creciente vulnerabilidad del sistema hídrico frente al aumento poblacional, la expansión urbana y la intensificación agrícola, procesos que, según Salmoral *et al.* (2020) y Fernández *et al.* (2020), han sobrepasado la capacidad de recarga natural del acuífero. Este diagnóstico concuerda con los análisis de Gonzales *et al.* (2025) y Schwarz (2017), quienes identifican una disminución progresiva de las reservas subterráneas y alertan sobre los riesgos de salinización y mayores costos energéticos de bombeo. En ese sentido, la percepción local de déficit hídrico no responde únicamente a una percepción social de escasez, sino a una crisis estructural y comprobada científicamente, que compromete tanto la calidad como la cantidad del agua disponible para consumo humano, agrícola e industrial.

Por otro lado, la preocupación expresada por los actores locales también pone en evidencia las asimetrías en el acceso al recurso y la urgencia de adoptar medidas de gestión sostenible. Los testimonios sobre la pérdida de tierras agrícolas y la presión urbana coinciden con los hallazgos de Vázquez-Rowe *et al.* (2016, 2017) y Esteve-Llorens *et al.* (2022), quienes demuestran que la alta huella hídrica azul de los cultivos agroexportadores intensifica la competencia por el agua en contextos áridos. Además, la falta de infraestructura de recarga y el uso desigual de tecnologías de riego profundizan las brechas entre grandes empresas y pequeños productores, generando desplazamientos rurales y cambios de uso de suelo. A ello se suman riesgos de contaminación difusa y deterioro de la calidad del agua, señalados por Jaramillo y Restrepo (2017) y Mishra *et al.* (2023), quienes destacan la necesidad de implementar estrategias de reúso seguro y monitoreo de descargas urbanas y agrícolas.

Alternativas viables frente al déficit hídrico en Ica

Los funcionarios y especialistas institucionales consultados coinciden en que no existe una solución única, sino que es necesario combinar diversas estrategias para enfrentar el problema estructural de escasez de agua en la región. Entre las más destacadas se encuentran la construcción de represas, la implementación de tecnologías de reúso, la recarga artificial de acuíferos, la mejora en infraestructura hidráulica y el control de pozos subterráneos. Se valora especialmente la experiencia de algunas agroempresas, como Agrocasa en Matica, que ha logrado reutilizar aguas residuales tratadas en cerca de 800 hectáreas de cultivo, lo cual demuestra que el reúso puede ser viable y rentable si se adapta el marco normativo.

La empresa Agrocasa logró implementar reúso de aguas residuales gracias a una concesión de 25 años. Hoy riegan 800 hectáreas. Eso demuestra que sí se puede, si se ajustan bien las normas (Entrevistado 3).

Otra solución mencionada es el revestimiento de canales de riego, ya que actualmente muchos se encuentran deteriorados, lo que ocasiona filtraciones y pérdidas de agua. La falta de infraestructura hidráulica, tanto menor (como tomas y canales) como mayor (represas y reservorios), es vista como un obstáculo clave para la eficiencia del riego agrícola. De igual modo, se propone aprovechar los ríos con caudales permanentes, como el río Pisco, cuya agua a menudo se desperdicia al ir directamente al mar. Canalizar este recurso hacia zonas agrícolas en Ica mediante proyectos de irrigación podría ser una opción estratégica de mediano plazo.

Un aspecto crítico resaltado es la necesidad de controlar la perforación y explotación de pozos subterráneos, ya que existen numerosos pozos clandestinos que extraen agua sin autorización, contribuyendo a la sobreexplotación del acuífero. Se plantea como solución la instalación de sensores en los pozos legales, para monitorear el volumen extraído y asegurar que no se exceda el límite autorizado. Esta medida requiere una

fiscalización más estricta por parte de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y su brazo local, el ALA. Si no hay Choclococha, no hay agua en Ica. Pero eso no justifica no hacer nada. Tenemos afluentes que solo pasan y se van al mar. Falta conciencia, especialmente entre pequeños agricultores (Entrevistado 4). Asimismo, la educación y sensibilización de los pequeños agricultores aparece como una acción urgente y complementaria. Se menciona que estos actores, en su mayoría, no tienen acceso a tecnologías ni conocimientos técnicos adecuados, por lo que su participación en talleres y capacitaciones es clave para fomentar prácticas sostenibles de riego y conservación del agua. Se reconoce que los grandes agroexportadores ya cuentan con recursos suficientes para invertir en soluciones hídricas, por lo cual el esfuerzo debe enfocarse en el agricultor familiar, que es el más vulnerable ante la escasez.

Hay muchos pozos clandestinos. Se necesita control y monitoreo con sensores. Además, deberíamos traer agua del río Pisco, que tiene caudal todo el año, y hacer recarga acuífera en Villacurí (Entrevistado 2).

Desde el enfoque de investigación y extensión agrícola, instituciones como el INIA enfatizan la importancia de entender las necesidades reales del productor local para diseñar alternativas de cultivo más resistentes a la escasez hídrica. Visitar el campo, conversar con los agricultores y adaptar la tecnología a sus condiciones es una estrategia necesaria para lograr impactos duraderos. En ese sentido, las soluciones técnicas deben ir acompañadas de una mirada social y territorial, que contemple las capacidades y limitaciones de quienes dependen del agua para vivir.

Los usuarios entrevistados en Ica identifican una serie de alternativas viables frente al déficit hídrico que afecta tanto a la agricultura como al consumo humano. Entre las soluciones más mencionadas destacan la construcción de represas, la siembra y cosecha de agua, y el reúso de aguas residuales tratadas. Estas acciones permitirían no solo almacenar y gestionar mejor el recurso, sino también alimentar los acuíferos subterráneos que son esenciales para el abastecimiento en esta región de clima árido.

Una preocupación recurrente es que las acciones de recarga hídrica, como el riego por inundación para alimentar el acuífero, recaen únicamente en los pequeños agricultores. Estos señalan que riegan sus parcelas anegando el suelo dos o tres veces, lo que contribuye a recargar el agua subterránea. Sin embargo, consideran injusto que sean ellos quienes asuman este esfuerzo mientras que las grandes agroexportadoras, que utilizan riego tecnificado, no retribuyen al ecosistema. Por ello, piden que las soluciones hídricas sean conjuntas, incluyendo a ambos sectores.

El reúso de agua tratada también se presenta como una alternativa prometedora. Algunos municipios como el de Guadalupe o Santiago ya reutilizan aguas residuales tratadas para riego agrícola, beneficiando a los productores locales. Sin embargo, esta práctica no es generalizada en toda la región. Los usuarios creen que es fundamental replicar estas experiencias en más distritos, y que las municipalidades jueguen un papel activo en promover infraestructuras de tratamiento y distribución de aguas reusables.

En otras zonas como Guadalupe ya están reutilizando el agua tratada para la agricultura, pero aquí la desperdician en el río. Las municipalidades deberían impulsar más este tipo de proyectos con plantas de tratamiento (Entrevistado 6).

Además de las soluciones técnicas, los usuarios subrayan la necesidad de cambiar la cultura del agua. Existe un fuerte consenso sobre la importancia de educar a la población en el uso responsable y eficiente del recurso. Enfatizan que la sensibilización desde la escuela y en las comunidades debe ser parte de toda estrategia sostenible, ya que muchos malos hábitos y desperdicios se deben a la falta de conocimiento o de conciencia ambiental.

Tabla 8. Categorías de percepción sobre alternativas viables frente al déficit hídrico en Ica

Categorías	Desde los funcionarios y especialistas	Desde los usuarios
Infraestructura de almacenamiento	Proponen la construcción de represas y reservorios como solución estructural frente a la escasez.	Demandan más represas y reservorios para el almacenamiento de agua en temporada de lluvias.
Tecnologías de reúso	Se destaca el uso exitoso del reúso de aguas residuales tratadas por agroempresas como Agrocasa.	Ven con buenos ojos el reúso de aguas tratadas, pero piden apoyo para implementarlo en pequeña escala.
Control de pozos subterráneos	Plantean instalar sensores en pozos legales y fiscalizar pozos clandestinos para evitar sobreexplotación.	Piden fiscalización de pozos ilegales que agotan la napa freática, afectando a quienes tienen pozos legales.

Mejora de infraestructura hidráulica	Identifican pérdidas por filtraciones en canales; proponen su revestimiento para mayor eficiencia.	Solicitan mantenimiento y mejora de canales deteriorados para evitar pérdidas de agua.
Aprovechamiento de ríos	Sugieren canalizar el río Pisco hacia zonas agrícolas para evitar que el agua se pierda en el mar.	Apoyan la idea de redirigir ríos como el Pisco hacia zonas agrícolas de Ica.
Recarga de acuíferos y riego tradicional	Impulsan recarga artificial con obras de ingeniería como cochas o infiltración controlada.	Utilizan riego por inundación como estrategia de recarga del acuífero, aunque con esfuerzo propio.
Justicia hídrica y corresponsabilidad	Reconocen la necesidad de un enfoque multiactor y normativas claras para repartir la carga de las soluciones.	Consideran injusto que solo los pequeños agricultores recarguen el acuífero; piden participación equitativa de grandes empresas.

Uno de los principales hallazgos es la existencia de conflictos entre agricultores por el momento y volumen de riego, especialmente en contextos de escasez. Estos conflictos no solo tienen una raíz técnica, como el diseño inadecuado del sistema de distribución, sino también una dimensión institucional: la falta de regulación efectiva y mecanismos de coordinación entre los diferentes actores del sistema. Este panorama responde directamente al objetivo de analizar las causas de la gobernanza deficiente del agua y se relaciona con la percepción de que las decisiones sobre el agua son tomadas sin participación real de los pequeños productores.

Asimismo, se identificó como barrera crítica el sistema de cobro individual por riego, que en Ica condiciona el acceso al agua al pago por turno, sin considerar la capacidad económica de los agricultores ni los contextos de emergencia hídrica. Este mecanismo, gestionado por las juntas de usuarios, genera exclusión y tensiones, sobre todo cuando el recurso fluye sin ser utilizado por falta de pago y se pierde en el mar. Desde la perspectiva institucional, esta situación refleja una ausencia de instrumentos normativos que garanticen el acceso justo al agua, lo que vulnera el principio de equidad. Desde la perspectiva de los usuarios, se percibe una injusticia estructural que debilita la confianza en las entidades responsables de la gestión hídrica.

Los actores institucionales y comunitarios coinciden en que es urgente implementar soluciones compartidas y sostenibles frente al déficit hídrico. Se proponen medidas como el fortalecimiento de capacidades locales, la implementación de infraestructura de tratamiento de aguas residuales para su reúso agrícola, y la reestructuración de los sistemas de cobro y distribución del agua para garantizar la equidad. La recarga de acuíferos también debe ser una responsabilidad compartida, no exclusiva de los pequeños agricultores. Estas propuestas apuntan a una mejora integral de la gobernanza del agua, que articule a actores públicos, privados y comunitarios, y que promueva un modelo de gestión más inclusivo, justo y ambientalmente responsable.

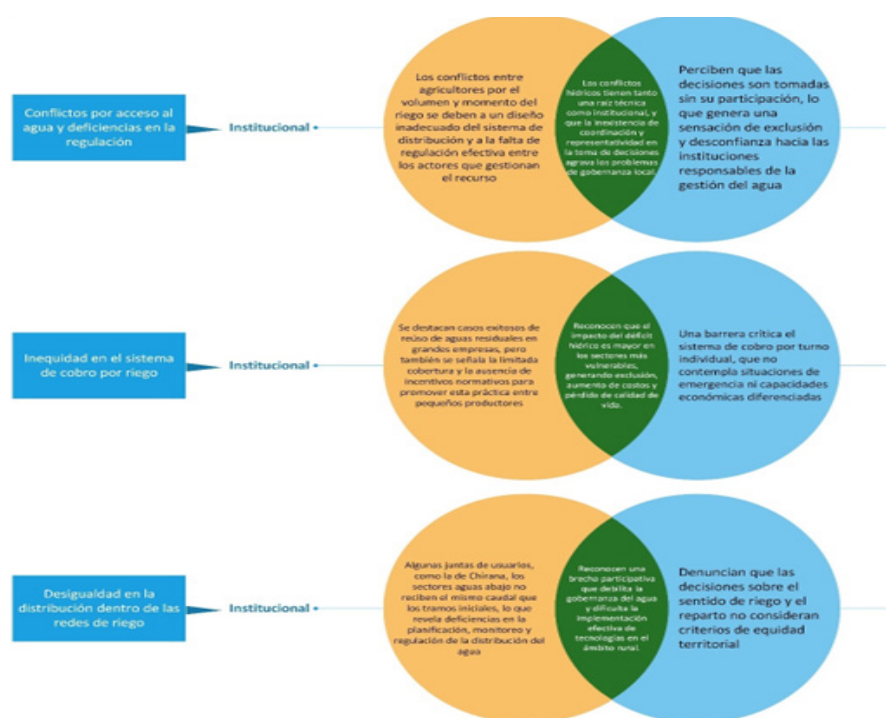


Figura 4. Triangulación desde la perspectiva de funcionarios, especialistas y usuarios sobre las barreras institucionales y de participación local en la gestión del recurso hídrico

Las alternativas frente al déficit hídrico en Ica deben entenderse desde una perspectiva de gobernanza y no solo tecnológica. Los funcionarios y especialistas entrevistados coincidieron en que la fragmentación institucional, la débil fiscalización de los pozos y la escasa coordinación intersectorial han limitado la eficacia de las políticas hídricas, lo que coincide con lo señalado por Budds y Hinojosa (2012) y Dai *et al.* (2022), quienes sostienen que los arreglos de gobernanza definen gran parte de los resultados en la gestión del agua. Las propuestas locales, como la recarga artificial de acuíferos, el reúso de aguas residuales tratadas o el revestimiento de canales, son viables siempre que se articulen con un marco de gestión adaptativa y con acuerdos cooperativos entre las zonas altoandinas y costeras, tal como plantean Gómez *et al.* (2023) y Underhill (2023). Este enfoque permite integrar la planificación territorial con la equidad social, evitando que las soluciones técnicas reproduzcan las desigualdades existentes en el acceso al agua y fortaleciendo la corresponsabilidad entre Estado, empresas y comunidades.

Asimismo, los resultados evidencian que la eficiencia tecnológica sin control volumétrico efectivo puede agravar el problema, reproduciendo el llamado “paradigma de la eficiencia” descrito por Grafton *et al.* (2018) y Lankford *et al.* (2023). En Ica, donde la tecnificación del riego ha coexistido con la expansión de la frontera agrícola y el aumento de pozos ilegales, la adopción de nuevas tecnologías debe acompañarse de mecanismos de monitoreo, cuotas de extracción y sanciones claras, tal como proponen Xiong *et al.* (2021) y Xu *et al.* (2022). En esa línea, medidas como la instalación de sensores en pozos legales, la recarga gestionada de acuíferos (MAR) y el reúso seguro de aguas residuales, respaldadas por Fernández *et al.* (2020) y Angelakis *et al.* (2018), constituyen alternativas viables si se enmarcan en políticas multisectoriales que integren ciencia, tecnología y participación ciudadana.

Conclusiones

La seguridad hídrica en Ica se consolidó como un problema estructural que trasciende el ámbito ambiental para instalarse en la esfera social, económica y política. Los resultados de la investigación evidenciaron que la escasez del agua afecta de manera diferenciada a los actores del territorio, generando brechas de acceso y desigualdad entre grandes agroexportadores y pequeños productores rurales. Esta asimetría no solo limita la sostenibilidad de la agricultura familiar, sino que también compromete el equilibrio del ecosistema y la calidad de vida de las comunidades. La ausencia de una planificación integral y la débil coordinación interinstitucional han profundizado el deterioro de los acuíferos, demostrando que la seguridad hídrica requiere una reforma en la gobernanza del recurso, con reglas claras, fiscalización efectiva y mecanismos de redistribución equitativa. En ese sentido, la investigación permitió confirmar que el desafío no radica únicamente en la escasez física del agua, sino en la forma en que se gestiona. Las percepciones de los actores revelaron una necesidad urgente de construir una gestión colaborativa y multisectorial, donde Estado, sector privado y sociedad civil compartan responsabilidades e impulsen soluciones conjuntas. Las propuestas más valoradas incluyeron la recarga artificial de acuíferos, el reúso de aguas residuales, la educación hídrica comunitaria y la implementación de tecnologías diferenciadas según el tipo de usuario. Solo a través de una gobernanza participativa y una planificación territorial sostenible será posible asegurar el agua para el consumo humano, la producción agrícola y la preservación ambiental, garantizando así el futuro hídrico y económico del departamento de Ica frente al cambio climático.

Referencias bibliográficas

- Andrago, Angelakis, A. N., Asano, T., Bahri, A., Jimenez, B., & Tchobanoglous, G. (2018). Water reuse: From ancient to modern times and the future. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 26. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00026>
- Barichivich, J., Gloor, E., Peylin, P., Brienens, R. J. W., Schöngart, J., Espinoza, J. C., & Pattnayak, K. C. (2018). Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Science Advances*, 4(9), eaat8785. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat8785>
- Budds, J., & Hinojosa, L. (2012). Restructuring and rescaling water governance in mining contexts: The co-production of waterscapes in Peru. *Water Alternatives*, 5(1), 119–137. <https://www.wateralternatives.org/index.php/volume5/v5issue1/161-a5-1-8>
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., et al. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 4(2), 111–116. <https://doi.org/10.1038/nclimate2100>
- Dai, L., Farrelly, M., & Rijke, J. (2022). Assessing the soundness of water governance. *International Journal of Water Resources Development*, 38(7), 1086–1106. <https://doi.org/10.1080/02508060.2022.2048487>

Delgado, E., Lazo, J., & Egúsqüiza, A. (2025). Modeling and predicting LULC changes in Ica (Peru) 1990–2030. *Environmental Sciences Europe*, 37, 181. <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01181-y>

Echevin, V., Koseki, S., Espinoza, J. C., & Takahashi, K. (2018). Forcings and evolution of the 2017 Coastal El Niño off northern Peru and Ecuador. *Frontiers in Marine Science*, 5, 367. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00367>

Esteve-Llorens, X., Vázquez-Rowe, I., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2022). Beyond yields: environmental sustainability in Peruvian agro-exports. *Science of the Total Environment*, 819, 152083. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152083>

Fernández-Escalante, E., Pedraza-García, P., & Calera, A. (2020). Evolution and sustainability of groundwater use from the Ica aquifers for the most profitable agriculture in Peru. *Hydrogeology Journal*, 28(8), 2601–2621. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02176-6>

Gómez, R., Del Villar, S., & Montero, E. (2023). Cooperative water-sharing agreements between highlands and coastal users: Tambo–Santiago–Ica basin. *International Journal of Water Resources Development*, 39(6), 927–948. <https://doi.org/10.1080/07900627.2023.2165048>

Gonzales, E., Álvarez, V., & Gonzales, K. (2025). Two decades of groundwater variability in Peru using GRACE/GRACE-FO (2003–2023). *Applied Sciences*, 15(14), 8071. <https://doi.org/10.3390/app15148071>

Grafton, R. Q., Williams, J., Perry, C. J., et al. (2018). The paradox of irrigation efficiency. *Science*, 361(6404), 748–750. <https://doi.org/10.1126/science.aat9314>

Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9), 3232–3237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>

Jaramillo, M. F., & Restrepo, I. (2017). Wastewater reuse in agriculture: A review of its limitations and benefits. *Sustainability*, 9(10), 1734. <https://doi.org/10.3390/su9101734>

Lankford, B. A., *et al.* (2023). Resolving the paradoxes of irrigation efficiency. *Agricultural Water Management*, 280, 108328. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108328>

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577–1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2014). Water footprint benchmarks for crop production. *Ecological Indicators*, 46, 214–223. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.013>

Mishra, S., *et al.* (2023). Use of treated sewage or wastewater as irrigation water: Impacts and opportunities. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100428. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100428>

Nemati, M., *et al.* (2023). Residential water conservation and the rebound effect. *Water Resources Research*, 59(12), e2022WR032169. <https://doi.org/10.1029/2022WR032169>

Opcionales adicionales (apoyan contexto Ica y Perú):

Angelakis, A. N., *et al.* (2014). Water reuse: Overview of current practices and trends. *Water Utility Journal*, 8, 67–78. https://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ_2014_08_07.pdf

Oshun, J., *et al.* (2021). Interdisciplinary water development in the Peruvian Andes (co-producción). *Hydrology*, 8(3), 112. <https://doi.org/10.3390/hydrology8030112>

Pei, D., *et al.* (2024). Agricultural water rebound effect and its driving factors. *Agricultural Water Management*, 297, 108739. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108739>

Pronti, A., de Muro, P., & Rota, R. (2024). Land concentration, food exports and water grabbing in the Ica Valley, Peru. *World Development*, 179, 106378. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2024.106378>

Rice, J., Wutich, A., & Westerhoff, P. (2016). Comparing de facto wastewater reuse and its public acceptance. *Environmental Science & Policy*, 61, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.03.004>

Richey, A. S., Thomas, B. F., Lo, M.-H., *et al.* (2015). Quantifying renewable groundwater stress with GRACE. *Water Resources Research*, 51(7), 5217–5237. <https://doi.org/10.1002/2015WR017349>

Salmoral, G., *et al.* (2020). Reconciling irrigation demands for agricultural expansion with environmental sustainability: The case of Ica. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123539. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123539>

Scanlon, B. R., *et al.* (2012). Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(24), 9320–9325. <https://doi.org/10.1073/pnas.1200311109>

Schwarz, J., *et al.* (2017). Globalization and the sustainable exploitation of scarce groundwater: The Ica–Villacurí aquifer. *Journal of Cleaner Production*, 147, 231–241. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.074>

Takahashi, K., *et al.* (2019). The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, 52, 7389–7415. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3702-1>

Underhill, V. (2023). Global Groundwater: California, Palestine and Peru. *Water Alternatives*, 16(1), 191–203. <https://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol16/v16issue1/694-a16-1-11/file>

Vázquez-Rowe, I., *et al.* (2016). Environmental profile of green asparagus in a hyper-arid environment. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2505–2517. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.074>

Vázquez-Rowe, I., *et al.* (2017). Sustainable water management in agriculture under hyper-aridity. *Science of the Total Environment*, 601–602, 425–437. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.161>

Xiong, R., *et al.* (2021). Improving the scientific understanding of the paradox of irrigation efficiency. *Water Resources Research*, 57(5), e2020WR029397. <https://doi.org/10.1029/2020WR029397>

Xu, H., *et al.* (2022). Drivers of the irrigation water rebound effect. *Agricultural Water Management*, 268, 107681. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107681>

Yglesias-González, M., *et al.* (2023). Reflections on the impact and response to the Peruvian 2017 Coastal El Niño. *PLOS ONE*, 18(9), e0290767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290767>

Declaración de conflictos de interés: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Declaración de contribución de autoría utilizando la Taxonomía CRediT:

César Adrian Labeguerre Nakada: Revisión e implementación de la investigación.

Gloria Inés Barboza Palomino: Redacción.

Leticia Tapia-Oré: Corrección y revisión final del artículo.

Declaración de originalidad del manuscrito: Los autores confirman que este texto no ha sido publicado con anterioridad, ni ha sido enviado a otra revista para su publicación.

Declaración de aprobación por el Comité de Ética: Los autores declaran que la investigación fue aprobada por el Comité de Ética de la institución responsable, en tanto la misma implicó a seres humanos

Declaración de originalidad del manuscrito: Los autores manifiestan que este texto no ha sido publicado con anterioridad, ni ha sido enviado a otra revista para su publicación.