



Impacto social de la eficiencia hidráulica en sistemas de riego: El caso de la red de canales del sistema San Jacinto

Social impact of hydraulic efficiency in irrigation systems: The case of the San Jacinto canal network

Wilmer Mario, Dominguez Zúñiga¹ ; Fidel Ernesto, Narea-Sánchez¹ ; Luis Humberto, Tapia-Yáñez¹ ; Carlos Alejandro, Carrillo-Morales² ; Carlos Alberto, Nieto-Cañarte³

(1) Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.

(2) Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.

(3) Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador

Resumen

El Sistema de Riego San Jacinto, ubicado en Guayas, Ecuador, aborda la eficiencia hidráulica como un desafío técnico y social clave para la sostenibilidad agrícola. Mediante una metodología mixta, se evaluaron las eficiencias de conducción, distribución y aplicación del agua, utilizando herramientas como caudalímetros, infiltrómetros de doble anillo, análisis gravimétrico de humedad del suelo y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Además, se realizaron entrevistas semiestructuradas y análisis documental para comprender las limitaciones institucionales y la percepción comunitaria. Los resultados revelan una eficiencia promedio de conducción del 79,43 %, distribución del 77,42 % y aplicación del 54,96 %, lo que arroja una eficiencia total del sistema de 70,59 %. Las pérdidas por percolación en canales sin revestimiento (51,50 % de la red) y la baja equidad en la distribución del agua afectan directamente la productividad y la cohesión social. Se identificaron disparidades entre comunidades, siendo Luchadores de Balzar la más cohesionada y Buena Suerte la más insatisfecha. Las deficiencias en gobernanza, falta de planes actualizados y escasa participación femenina agravan la situación. Se concluye que el sistema presenta un desempeño moderado, con oportunidades claras de mejora mediante la incorporación de tecnologías SIG, capacitación de usuarios y estrategias participativas que fortalezcan la gestión comunitaria y promuevan la equidad hídrica. Este enfoque integral ofrece un modelo replicable para otros sistemas de riego en contextos similares.

Palabras clave: gestión de recursos hídricos, sistemas de riego, tecnología agrícola, desarrollo rural, participación comunitaria, sostenibilidad ambiental.

Abstract

The San Jacinto Irrigation System, located in Guayas, Ecuador, addresses hydraulic efficiency as a key technical and social challenge for agricultural sustainability. Through a mixed methodology, the efficiencies of water conveyance, distribution, and application were evaluated using tools such as flow meters, double-ring infiltrometers, gravimetric soil moisture analysis, and Geographic Information Systems (GIS). Additionally, semi-structured interviews and document analysis were conducted to understand institutional limitations and community perceptions. The results reveal an average conveyance efficiency of 79.43%, distribution efficiency of 77.42%, and application efficiency of 54.96%, resulting in a total system efficiency of 70.59%. Percolation losses in unlined canals (51.50% of the network) and low equity in water distribution directly impact productivity and social cohesion. Disparities among communities were identified, with Luchadores de Balzar showing the highest cohesion and Buena Suerte the greatest dissatisfaction. Governance deficiencies, lack of updated plans, and limited female participation exacerbate the situation. It is concluded that the system exhibits moderate performance, with clear opportunities for improvement through the incorporation of GIS technologies, user training, and participatory strategies that strengthen community management and promote water equity. This comprehensive approach offers a replicable model for other irrigation systems in similar contexts.

Keywords: water resources management, irrigation systems, agricultural technology, rural development, community participation, environmental sustainability.

Recibido/Received	30-08-2025	Aprobado/Approved	06-10-2025	Publicado/Published	08-10-2025
-------------------	------------	-------------------	------------	---------------------	------------

Introducción

La gestión eficiente del agua se ha consolidado como uno de los desafíos más apremiantes del siglo XXI, especialmente en el contexto de un clima cada vez más variable y una demanda creciente de alimentos. El agua es, indiscutiblemente, un recurso vital y escaso, fundamental para el desarrollo agrícola, particularmente en latitudes donde las condiciones meteorológicas imponen severas limitaciones a su disponibilidad natural (FAO, 2016). En este escenario, los sistemas de riego no solo desempeñan un papel instrumental en el soporte de la producción de alimentos y la seguridad alimentaria, sino que también son pilares del bienestar de las comunidades rurales y de la indispensable sostenibilidad ambiental (Pereira et al., 2012).

El desarrollo económico moderno en la agricultura ha impulsado la adopción de formas intensivas de producción, que a menudo implican químificación y automatización, lo que simultáneamente genera beneficios en productividad y graves desafíos ecológicos (Popovych et al., 2023). Aquí incluyen la contaminación del agua y del suelo, lo que requiere de un enfoque equilibrado que priorice la protección ambiental y la transición hacia tecnologías orgánicas. Por otro lado, la preocupación por la escasez hídrica ha catalizado una tendencia global hacia la modernización de la infraestructura, buscando reducir las pérdidas y maximizar la productividad de cada gota de agua. La medición y optimización del rendimiento hídrico, a través de indicadores de eficiencia y uniformidad, es una práctica central para la conservación y la gestión sostenible del recurso (Clemmens & Burt, 2008; Pereira et al., 2012).

Históricamente, la evaluación del rendimiento de los sistemas de riego se ha centrado primordialmente en variables técnicas, como las pérdidas por percolación, la uniformidad de la aplicación y la eficiencia de conducción (Shahzad et al., 2021). No obstante, el manejo del agua es un problema inherentemente socio-técnico. La eficiencia hidráulica, entendida como la relación entre el volumen de agua útilmente utilizado y el volumen total captado o distribuido (Clemmens & Burt, 2008), está intrínsecamente ligada a las prácticas de gestión, las capacidades institucionales y el tejido social de las comunidades beneficiarias.

El recurso hídrico, al ser un bien público, exige que su administración garantice la equidad del acceso, y cualquier pérdida significativa en la red no solo representa un despilfarro económico y energético, sino que repercute directamente en la productividad de los usuarios ubicados al final de los canales y en la armonía social. De hecho, las problemáticas económicas y la desigualdad estructural tienen un profundo impacto en la agricultura y en la vida rural. Por ejemplo, la labor femenina, muchas veces invisibilizada en las mediciones puramente economicistas, resulta crucial para el sostenimiento socioeconómico de la región, especialmente en contextos de crisis como las pandemias o eventos climáticos extremos (Arroyo Pedraza, 2020). Entender las dinámicas sociales, la equidad de género en el acceso a los recursos y las preocupaciones de la fuerza laboral se vuelve tan esencial como el cálculo de la eficiencia física de las tuberías. En este sentido, la atención en las políticas agrícolas se está desplazando hacia la calidad del empleo y la retención de la mano de obra, donde factores como la seguridad, las oportunidades y la capacitación, aunque no siempre se contemplen plenamente en marcos como el de Trabajo Decente de la OIT, tienen una influencia determinante en la satisfacción y la intención de permanencia de los trabajadores (Santhanam-Martin et al., 2024).

La automatización y la incorporación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y tecnologías SCADA han emergido como soluciones técnicas robustas para optimizar el uso hídrico (Buitron, 2014; Flores García et al., 2024; Tangarife Escobar et al., 2020). La aplicación de tecnologías para el control del recurso hídrico y variables ambientales bajo invernadero permite una supervisión precisa de las variables y la adquisición de información para una irrigación eficiente, lo que se presenta como una tendencia crucial para reducir el impacto de la migración de mano de obra del campo a la ciudad (Tangarife Escobar et al., 2020). No obstante, la implementación de estas soluciones tecnológicas en la agricultura requiere una inversión significativa, y la identificación de los factores que inciden en la asignación de recursos para la automatización se vuelve un tema de investigación relevante en el contexto de economías en desarrollo

(Quinde Almeida & Barbery Montoya, 2023). Incluso en el ámbito de la hidrología avanzada, la comparación entre modelos físicos y modelos de aprendizaje automático reflejan la complejidad inherente a la simulación y gestión de los recursos hídricos superficiales (Jin et al., 2024; Abdel-Fattah et al., 2020). En última instancia, la convergencia de la tecnología y la gestión, incluyendo estrategias como la infiltración de aguas pluviales para reducir la contaminación (Niu et al., 2015) o la aplicación de bulbo húmedo en el diseño de riego por goteo (Baiamonte, 2024), son pasos necesarios hacia la gestión integral de cuencas y sistemas.

Este estudio se enfoca en el Sistema de Riego San Jacinto, una infraestructura hidráulica estratégica situada en la margen derecha del río Daule, dentro del cantón Colimes, provincia de Guayas, Ecuador. Además de los problemas técnicos, el Sistema de Riego San Jacinto enfrenta serias deficiencias de gestión desde la transferencia de su administración a la Junta General de Usuarios en el año 2000, realizada sin entregar herramientas ni información técnica esencial. La falta de planos actualizados, mantenimiento integral y datos críticos impide intervenciones efectivas, mientras que eventos como El Niño de 1998 han deteriorado aún más la infraestructura. Ante esta situación, el artículo propone un análisis integral de la eficiencia hidráulica del sistema, incorporando variables técnicas, sociales y de gestión. Mediante una metodología mixta que combina tecnologías SIG y la percepción de los usuarios, se busca generar conocimiento aplicado para diseñar estrategias participativas que permitan evaluar la eficiencia real, georreferenciar deficiencias y proveer información digital actualizada. El objetivo final es optimizar el uso del agua, fortalecer la gestión comunitaria y ofrecer un modelo replicable para otros sistemas con desafíos similares.

Materiales y métodos

El diagnóstico del Sistema de Riego San Jacinto se desarrolló mediante un enfoque metodológico mixto, que integra herramientas de análisis técnico, espacial y social para evaluar de manera integral la eficiencia hidráulica y su impacto en las comunidades beneficiarias.

1.1. Diseño Metodológico

Se adoptó un diseño exploratorio-descriptivo con enfoque mixto, combinando técnicas cuantitativas para el análisis físico de la infraestructura y cualitativas para la caracterización social y de gestión. Esta integración permitió abordar el sistema como un fenómeno socio-técnico, reconociendo la interacción crítica entre variables hidráulicas, institucionales y comunitarias.

La investigación es de tipo descriptiva, explicativa y aplicada, con un diseño no experimental y de corte transversal, ya que los datos se recolectaron en un único momento temporal con el fin de diagnosticar la situación actual del sistema y la percepción de la comunidad de usuarios.

1.2 Eficiencia de conducción

Para el cálculo y determinación de la eficiencia de conducción en los canales principales, se utilizó el método de la diferencia de caudales, este método está basado en el aforo simultáneo entre dos secciones de un tramo del canal en estudio y las diferencias de caudal son las perdidas por conducción. Otra variante de este método es cuando varias tomas están funcionando, en cuyo caso se aforó el caudal de entrada al tramo, el de las tomas que están funcionando en el tramo a evaluarse, y el caudal que sale del tramo; la diferencia del caudal que entra y la suma de los caudales que salen, son las pérdidas por conducción por lo que la eficiencia se puede expresar por la fórmula:

$$Ec = \frac{Qed}{Qec} \times 100$$

Donde:

Ec: Eficiencia de conducción (%).

Qed: Caudal entregado a los canales de distribución (L/s).

Qec: Caudal derivado de la fuente (L/s).

O bien por la siguiente ecuación, en el caso de que estén funcionando varias tomas.

$$Ec = \frac{(\sum q + Qed)}{Qec} \times 100$$

Donde:

Ec : Eficiencia de conducción (%).

$\sum q$: Suma de los caudales de las tomas que funcionan en el tramo (m^3/s)

Qed: Caudal entregado a los canales de distribución (m^3/s)

Qec: Caudal derivado de la fuente (L/s).

Inicialmente, se tomó datos de la sección del canal en el punto inicial o de entrada, con los cuales obtuvimos el área hidráulica del canal, y posteriormente se obtuvo la velocidad del flujo de agua mediante la medición con un caudalímetro o correntómetro, el mismo que nos proporcionó la lectura directa de la velocidad del flujo de agua en el sitio, con estos datos obtuvimos el caudal que pasa por ese punto, con la formula siguiente:

$$Q = V \cdot A$$

donde:

Q: Caudal (m^3/s)

V: Velocidad (m/s)

A: Area (m^2)

Estas mediciones, tanto de área como de velocidad del flujo de agua se las realizó al inicio y al final del tramo que se escogió para el estudio, de esta manera por la diferencia de caudales se obtuvo la eficiencia de la conducción del canal.

1.3 Eficiencia de Distribución

Para calcular la eficiencia de distribución se procedió a hacerlo individualmente para cada canal de distribución, con una cinta métrica se tomaron las dimensiones del canal, adicionalmente en la entrada del canal de distribución se midió la velocidad del flujo con el caudalímetro, utilizando la fórmula descrita a continuación con los valores de velocidad del flujo y area hidráulica del canal se obtuvo el caudal en ese punto de control, el mismo procedimiento se realizó en otro punto del canal que sería la salida del mismo o final, para nuestro trabajo se consideró el hecho de que el canal contaba con tomas de salida a las parcelas, para ello fue necesario aforar cada una de estas salidas y luego sumarlas.

$$Ed = \frac{\sum q + Qed}{Qed} \times 100$$

Donde:

Ed: Eficiencia de distribución (%)

$\sum q$: Suma de caudales distribuidos (m^3/s)

Qep: Caudal a la salida del canal (m^3/s)

Qed: Caudal a la entrada de la distribución (m^3/s)

1.4 Eficiencia de Aplicación

Eficiencia potencial de aplicación (Eap)

$$Eap = \frac{\text{Volumen de agua infiltrada y almacenada}}{\text{Volumen de agua aplicada}}$$

Estos tres parámetros de eficiencia son aplicables a los distintos métodos de riego, y sus resultados explican particularmente las diferencias de respuesta de los cultivos.

Para el caso del presente trabajo de investigación que son Melgas sin desague al pie se riega de acuerdo al siguiente orden:

2. Determinación de la ecuación de infiltración

Esto lo realizaremos mediante la utilización de un infiltrómetro de doble anillo, ya que esta es la metodología más conocida y fácil de implementar, aquí tomaremos el tiempo y la lámina acumulada en minutos.

$$I = a * t^b$$

Donde:

I: Velocidad de infiltración (mm/minuto o mm/hora)

t: tiempo (minutos)

a: coeficiente que representa la velocidad de infiltración cuando t=0

b: exponente sin dimensión con valores entre 0 a -1

3. Determinación gravimétrica del contenido de humedad del suelo

La obtención de la humedad del suelo es un valor que resulta muy importante para la determinación de la Humedad a Capacidad de Campo (HCC) y la Humedad a Punto de Marchitez Permanente (HPMP), valores con los que se podrá obtener la lámina de agua Disponible a nivel de las raíces del cultivo, dato necesario para la obtención de la Eficiencia de aplicación. Con el propósito de realizar la obtención de la humedad del suelo por el método gravimétrico se procedió a construir con tablas de madera un marco de 1m de largo x 1m de ancho con 0,25m de ancho, enterramos este marco en el suelo a 5 cm de profundidad compactando cada uno de los bordes.

Cuando el cajete se encuentra perfectamente instalado se procedió a vaciar o verter en el aproximadamente 400 litro de agua, con el propósito de saturar completamente el suelo, seguidamente se cubrió el cajete gravimétrico con un plástico, para impedir la evaporación desde el suelo y se produzca pérdida de agua.

A las 24, 48 y 72 horas después de su instalación se procedió a tomar las muestras de suelo a los 20 cm y 50 cm, estas muestras fueron de aproximadamente 500 gramos en cada capa, se procedió a pesarlas en campo y posteriormente fueron llevadas al laboratorio para su respectivo análisis.

Una vez en el laboratorio, las muestras obtenidas se procedió a pesar nuevamente en una balanza de lectura de décimas de gramo, sin abrir las fundas, registramos la lectura como PSH + PE (Peso del Suelo Húmedo + Peso de Envase), luego de pesadas se colocaron en una estufa a una temperatura de 105° C por 24 horas hasta obtener un peso constante, al utilizar fundas plásticas nos aseguramos de haber extraído la totalidad de las muestras de suelo de la funda antes de ponerla en el horno, pesando la funda plástica (PE) y el envase que fue utilizado en el horno o estufa de secado.

El valor del peso obtenido después de haberla secado lo registramos con el fin de utilizarla en la siguiente ecuación de humedad gravimétrica:

$$H_{GCC} = \frac{(PSH - PE) - (PSS - PE)}{HCC / PSS} \times 100$$

Donde:

Hgcc: Humedad gravimétrica a capacidad de campo (%)

Psh: Peso del suelo húmedo (g)

Pe: Peso del envase (g)

Pss: Peso del suelo seco (g)

Luego, para obtener el contenido de humedad a Punto de Marchitez Permanente, se multiplicó el valor de Humedad gravimétrica a capacidad de campo por 0.55 es decir:

$$Hpmp = 0.55 \times Hcc$$

Humedad Aprovechable o Disponible (Lr)

Con los valores obtenidos en la de Humedad a capacidad de campo (Hcc) y Humedad a punto de marchitez permanente (Hpmp), se procedió a obtener la humedad aprovechable o lámina de agua disponible (L), con la siguiente formula:

$$Lr = \frac{((Hcc - Hpmp) \times Da \times Pr)}{100}$$

Donde:

Lr: Humedad aprovechable o disponible (cm)

Hcc: porcentaje de humedad a capacidad de campo (%)

Hpmp: porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente (%)

Da: densidad aparente (adimensional)

Pr: profundidad de enraizamiento (cm)

Finalmente, con los datos obtenidos de los cálculos anteriores se procedió a calcular la eficiencia de aplicación utilizando la formula siguiente:

$$Ea = \frac{(Qc \times 100)}{Qp}$$

Donde:

Ea: Eficiencia de aplicación

Qc: Volumen de agua disponible para la planta en el suelo (l/s)

Qp: Volumen entregado a la propiedad

Eficiencia total del sistema de Riego

Finalmente se obtuvo la eficiencia total del riego promediando la eficiencia de conducción, eficiencia de distribución y eficiencia de aplicación del agua en la parcela.

$$Et = \frac{(Ec + Ed + Ea)}{3}$$

Donde:

Et: Eficiencia total del sistema de riego

Ec: Eficiencia de conducción

Ed: Eficiencia de distribución

Ea: Eficiencia de aplicación

Con el propósito de realizar una comparación técnica, se consideraron los valores referenciales de eficiencia de conducción y distribución, así como los criterios de calificación para las eficiencias de aplicación, almacenaje y distribución en parcelas bajo métodos de riego por superficie, según lo establecido por Roscher (1985). Adicionalmente, se incorporaron los lineamientos metodológicos propuestos por Navarro (2012). Sobre esta base, se procedió a comparar los valores de eficiencia obtenidos mediante fórmulas matemáticas, con el fin de evaluar el desempeño hidráulico del sistema en función de estándares reconocidos para cada componente: aplicación, conducción y distribución.

Es necesario mencionar que el enfoque principal de este estudio es el análisis y evaluación de las eficiencias de conducción y distribución, debido a que estas nos darán una perspectiva y criterio sobre el estado actual de los canales y por consiguiente tomar decisiones para la intervención en procesos correctivos de reconstrucción de la infraestructura, además de la optimización en la operación mantenimiento con el fin de mejorar el uso del recurso agua.

Para la digitalización de la red de canales mediante la utilización de un software de SIG (Sistema de Información Geográfica) se utilizó cada punto georeferenciado que fue considerado en la evaluación física de los canales de riego, esta información que ha sido tabulada en hojas de cálculo de tipo Excel se ingresó al software ArcGis versión 10.3, estos puntos ingresados con extensión xls. se transformaron a puntos gráficos con extensión shp. Aquí se generó una segmentación gráfica de puntos, con la tabla de herramientas de dibujo (Drawing) se procedió a seleccionar la herramienta con que se trazó líneas (Line) y se unieron los puntos para formar los canales.

Las líneas creadas anteriormente se pasaron de formato gráfico a un formato con característica utilizando la herramienta (Graphic to feature), así definitivamente obtuvimos polilíneas con extensión shape que nos sirvió para ser proyectados en la cartografía base que dispusimos para el efecto.

4. Información Social y de Gestión

Este componente evaluó la gobernanza, las limitaciones institucionales y la percepción de los usuarios en las comunidades beneficiarias (La Fortuna, Bellavista, Buena Suerte, Luchadores de Balzar, La Alegría y Boquerón).

Entrevistas Semi-estructuradas: Se aplicaron a la directiva de la Junta General de Usuarios y a técnicos de las instituciones gubernamentales (e.g., SENAGUA, MAGAP) para captar la percepción sobre el funcionamiento, las limitaciones administrativas, presupuestarias y la transferencia de información.

Análisis Documental: Revisión de planos originales, informes técnicos, resoluciones administrativas y registros operativos disponibles, contrastando la infraestructura diseñada con la realmente construida.

5. Procesamiento y Análisis de Datos

El procesamiento de datos se basó en la triangulación de fuentes (técnica, espacial y social) para construir un diagnóstico robusto y contextualizado.

Datos Hidráulicos: Los datos de caudal y pérdidas fueron sistematizados en matrices de evaluación para el cálculo de Ec y la estimación del ahorro potencial. Se utilizaron fórmulas de Manning para la simulación del flujo y el diagnóstico de la capacidad de transporte, procesados en hojas de cálculo (e.g., Microsoft Excel).

Datos Espaciales: La información georreferenciada fue analizada en software SIG para generar capas vectoriales y layouts cartográficos que detallan el estado físico y la ubicación de los puntos críticos.

Datos Sociales: La información de las encuestas y entrevistas fue codificada temáticamente, ingresada en un software estadístico (e.g., SPSS) y analizada mediante estadísticas descriptivas (frecuencias, medias) para identificar patrones de percepción, gobernanza y vulnerabilidad.

Resultados

El Sistema de Riego y Drenaje San Jacinto se encuentra ubicado en la Provincia del Guayas, Ecuador, a una distancia aproximada de 32 kilómetros al norte de la ciudad de Guayaquil. Específicamente, este sistema se localiza en el cantón Colimes, dentro de la parroquia San Jacinto. El acceso principal a la zona se realiza a través de la carretera Guayaquil – Daule, lo que lo sitúa en una región costera clave para la agricultura del país (Figura 1A). Mientras que la Figura 1B, se ubican geográficamente las parcelas evaluadas.

Este sistema fue desarrollado como parte de la primera etapa del Proyecto Daule Peripa, formando parte de un conjunto de cuatro sistemas que suman cerca de 17.000 hectáreas en la margen derecha del río Daule. El sistema San Jacinto fue construido entre 1985 y 1987, y entró formalmente en operación en 1992 para atender un área de 2446 hectáreas. Desde el año 2000, su Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) fue transferida a la Junta General de Usuarios, manteniendo el Estado la supervisión de la infraestructura.

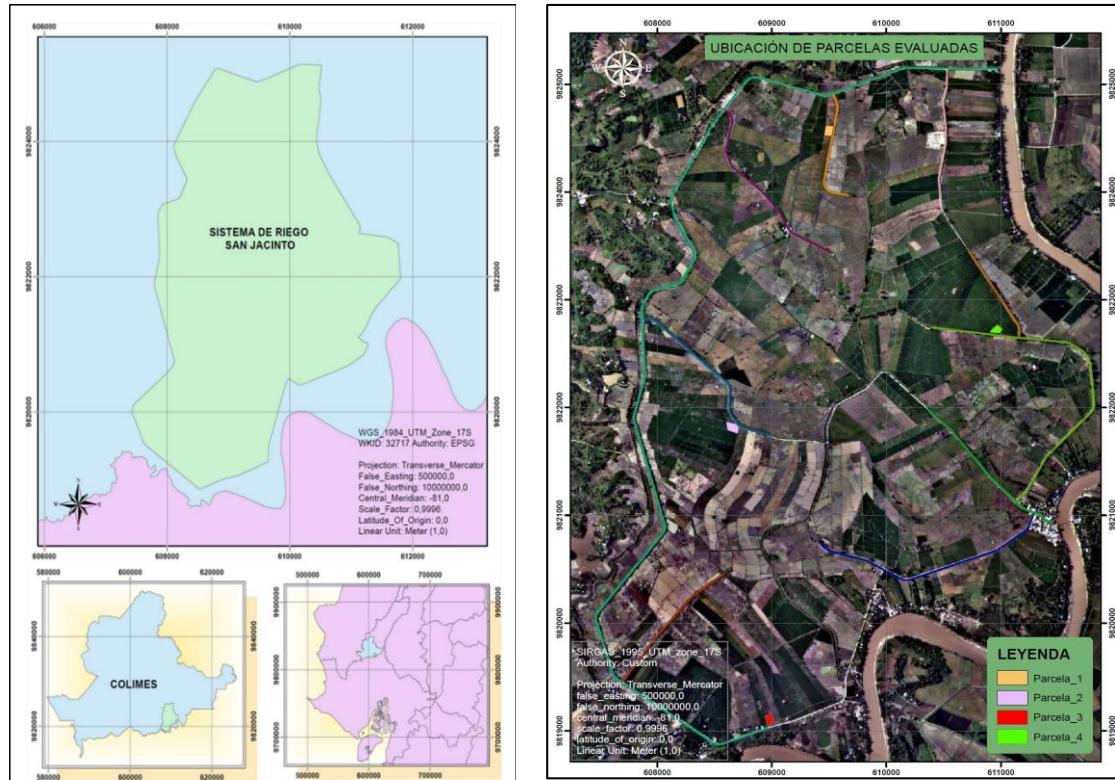


Figura 1. A) Ubicación del Sistema de Riego San Jacinto y B) Ubicación de Parcelas Evaluadas

Diagnóstico del Sistema de Riego San Jacinto

La tabla 1, presenta un diagnóstico integral del Sistema de Riego San Jacinto, destacando su ubicación estratégica en el cantón Colimes (Guayas, Ecuador) y su pertenencia al Proyecto Daule Peripa, con una capacidad regable de 2.446,00 hectáreas y 293 usuarios beneficiarios. El sistema opera mediante dos estaciones de bombeo con una capacidad conjunta de 5.160,00 l/s, aunque enfrenta una baja eficiencia hidráulica: el 51,50 % de su red de canales permanece sin revestimiento, generando pérdidas por percolación significativas. En el ámbito de gestión, la Junta de Usuarios carece de planos definitivos y herramientas técnicas, lo que limita el mantenimiento y la planificación. Socialmente, la distribución desigual del agua afecta la equidad, la productividad y la cohesión comunitaria. El diagnóstico concluye que se requiere una intervención integral que combine evaluación técnica, análisis social y herramientas digitales para garantizar la sostenibilidad del sistema.

La Tabla 2 presenta los resultados del análisis de eficiencia hidráulica en tres etapas clave del Sistema de Riego San Jacinto: conducción, distribución y aplicación. Los valores fueron obtenidos mediante fórmulas matemáticas y comparados con referencias técnicas reconocidas (Navarro, 2012), permitiendo una evaluación integral del desempeño del sistema.

En la etapa de conducción, se observa una eficiencia de 67,16 % en el canal SJA y de 91,71 % en el canal SJB, lo que arroja un promedio de 79,43 %, indicando un desempeño aceptable en el transporte del agua desde las estaciones de bombeo hasta los canales principales.

Tabla 1. Diagnóstico Integral del Sistema de Riego San Jacinto: Infraestructura, Gestión e Impacto Social

Dimensión	Aspecto Evaluado	Descripción
Infraestructura	Localización geográfica	Margen derecho del río Daule, cantón Colimes, provincia de Guayas, Ecuador
	Proyecto asociado	Parte del Proyecto Daule Peripa (17.000,00 ha en su primera etapa)
	Año de construcción y operación	Construido entre 1985-1987; operativo desde 1992
	Área regable y usuarios	2.446,00 ha; 293 usuarios beneficiarios
	Comunidades atendidas	La Fortuna, Bellavista, Buena Suerte, Luchadores de Balzar, La Alegría, Boquerón
	Estaciones de bombeo	San Jacinto 1 (3×0,92 m ³ /s = 2.760,00 l/s); San Jacinto 2 (3×0,80 m ³ /s)
	Caudal concesionado	761,53 l/s desde el río Daule
Gestión	Revestimiento de canales	48,50 % revestido (5,00-7,00 cm de espesores); 51,50 % sin revestir (14.227,00 m de 27.658,00 m)
	Pérdidas hidráulicas	Clasificadas como "muy grandes" por percolación (CEDEGE, 2005)
	Infraestructura complementaria	Red de drenajes: 19,64 km; red vial: 29,92 km
Impacto social	Transferencia administrativa	Desde CEDEGE a Junta General de Usuarios en 2000
	Deficiencias técnicas	Ausencia de planos definitivos; solo planos de diseño; falta de diagnóstico técnico
	Mantenimiento	No se ha realizado mantenimiento integral; fisuras por eventos climáticos y mal uso
Impacto social	Capacidad institucional	Limitada por falta de herramientas digitales y georreferenciación
	Equidad en el acceso	Usuarios en tramos finales afectados por baja eficiencia
	Tensiones comunitarias	Derivadas de distribución desigual del recurso
Recomendaciones	Participación femenina	Invisibilizada en la gestión del agua
	Condiciones laborales	Precariedad en el empleo agrícola; vulnerabilidad ante crisis climáticas y sanitarias
	Enfoque integral	Evaluación técnica + análisis social + gobernanza participativa
	Herramientas propuestas	Incorporación de SIG, digitalización de infraestructura, levantamiento participativo

La etapa de distribución muestra una mayor variabilidad entre los subtramos evaluados. Las eficiencias oscilan entre 67,93 % (SJA-2) y 86,54 % (SJA-5), con un promedio general de 77,42 %, lo que sugiere que, aunque existen tramos con buen desempeño, otros presentan pérdidas significativas que deben ser atendidas.

En cuanto a la aplicación en parcela, los resultados evidencian una eficiencia considerablemente más baja. Los valores fluctúan entre 31,88 % (Parcela No. 2) y 72,22 % (Parcela No. 3), con un promedio de 54,96 %, lo que refleja deficiencias en la distribución final del agua sobre el terreno cultivado, posiblemente asociadas a prácticas de riego inadecuadas o condiciones físicas del suelo.

Finalmente, la eficiencia total del sistema se estima en 70,59 %, lo que permite clasificar el desempeño hidráulico como moderado, con oportunidades claras de mejora en la etapa de aplicación y en algunos tramos de distribución. Estos resultados respaldan la necesidad de intervenciones técnicas focalizadas y de estrategias de capacitación para los usuarios, orientadas a optimizar el uso del recurso hídrico y mejorar la equidad en su acceso.

Tabla 2. Eficiencias Parciales y Promedio de Conducción, Distribución y Aplicación en el Sistema de Riego San Jacinto

Etapa de Riego	Canal/Parcela	Eficiencia (%)	Promedio de la Etapa (%)
Conducción	SJA	67,16	79,43
	SJB	91,71	
Distribución	SJA-1	75,80	77,42
	SJA-2	67,93	
	SJA-3	75,76	
	SJA-4	83,33	
	SJA-5	86,54	
	SJB-1	73,63	
	SJB-2	77,92	
Aplicación	SJB-3	78,43	
	Parcela No. 1	59,66	54,96
	Parcela No. 2	31,88	
	Parcela No. 3	72,22	
	Parcela No. 4	56,07	
Eficiencia Total	Sistema	-	70,59

La tabla 3, proporciona una evaluación estructurada que integra los desafíos de gobernanza, las limitaciones institucionales y la percepción de los usuarios en las seis comunidades beneficiarias. Los

resultados revelan que el éxito del sistema de riego no solo depende de la eficiencia hidráulica, sino también de la gestión social. Se identifican claras disparidades, siendo la comunidad Luchadores de Balzar la que presenta el mejor desempeño, con una alta satisfacción de los usuarios (5/5) y una fuerte cohesión, lo que se correlaciona directamente con su buen manejo de la gobernanza. En contraste, Buena Suerte registra la insatisfacción más alta (2/5) debido a problemas de confianza y equidad percibida en la distribución del agua, lo que señala un punto crítico que requiere intervención en los mecanismos de resolución de conflictos y transparencia.

El análisis de las limitaciones institucionales complementa estos hallazgos, mostrando que las deficiencias van desde la lentitud en la respuesta técnica (Bellavista) hasta la preocupación por la sostenibilidad financiera (Boquerón) y la infraestructura deficiente (La Alegría). Estos obstáculos estructurales, combinados con las fallas de gobernanza, afectan directamente la percepción de los usuarios, especialmente en comunidades como La Fortuna, donde la falta de capacitación y la pobre participación generan descontento. En esencia, la tabla demuestra que las pérdidas hídricas y el rendimiento técnico están inseparablemente ligados a la capacidad institucional para responder a las necesidades de mantenimiento y, crucialmente, a la percepción de justicia y transparencia en la administración de los recursos hídricos.

Tabla 3. Evaluación de Gobernanza, Limitaciones Institucionales y Percepción de Usuarios en el Sistema de Riego

Comunidad Beneficiaria	Aspecto de Gobernanza Evaluado	Limitaciones Institucionales Clave	Percepción General del Usuario (Escala de 1 a 5)	Observaciones y Hallazgos Relevantes
La Fortuna	Nivel de participación en la toma de decisiones.	Claridad de roles entre la Junta de Riego y autoridades locales.	3	Descontento por distribución de agua; falta de capacitación.
Bellavista	Eficacia de la rendición de cuentas (transparencia).	Existencia y actualización de reglamentos internos.	4	Buena organización de los usuarios, pero lentitud en la respuesta técnica.
Buena Suerte	Capacidad de resolución de conflictos hídricos.	Disponibilidad de recursos económicos (mantenimiento).	2	Percepción de favoritismo en la asignación de caudales. Baja confianza en la institución.
Luchadores de Balzar	Frecuencia y asistencia a asambleas de usuarios.	Coordinación interinstitucional con entidades gubernamentales.	5	Alta satisfacción; fuerte liderazgo y cohesión comunitaria.
La Alegría	Grado de cumplimiento de acuerdos y normativas.	Nivel de autonomía en la gestión de tarifas y cuotas.	3	Quejas sobre la infraestructura deficiente y alto costo de las cuotas.
Boquerón	Representatividad de la directiva y rotación de cargos.	Capacidad de fiscalización y sanción ante incumplimientos.	4	Percepción positiva de la gobernanza, pero preocupación por la sostenibilidad financiera a largo plazo.

Discusión

El Sistema de Riego y Drenaje San Jacinto se enmarca en un contexto socio-técnico complejo, cuya ubicación en la parroquia San Jacinto, cantón Colimes, provincia del Guayas, Ecuador, lo posiciona como un activo clave para la agricultura de la región Costa, con fácil acceso a través de la carretera Guayaquil-Daule. El proyecto forma parte de la herencia del Proyecto Daule Peripa, que abarca múltiples sistemas de riego y drenaje con una capacidad total de cerca de 17.000 hectáreas. Construido entre 1985 y 1987, y operativo desde 1992, el sistema San Jacinto representa un modelo de gestión transferida: desde el año 2000, su Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) fue delegada a la Junta General de Usuarios, si bien el Estado conserva la propiedad de la infraestructura y su supervisión. Esta transferencia, aunque busca empoderar a los usuarios, impuso desafíos significativos al dejar la administración sin herramientas esenciales, específicamente la ausencia de planos definitivos y de información técnica actualizada, una deficiencia que limita la capacidad de los usuarios para gestionar la infraestructura eficientemente (Quinde Almeida & Barbería Montoya, 2023).

El diagnóstico integral de la infraestructura del sistema de riego revela que su diseño y estado actual son las principales fuentes de las bajas eficiencias hidráulicas. Pese a contar con dos estaciones de bombeo de gran capacidad para el riego, el sistema afronta un problema estructural crítico: una parte

significativa de su red de canales principales y secundarios permanece sin revestimiento (51,50% de la longitud total). Esta falta de revestimiento genera pérdidas por percolación clasificadas como "muy grandes", un hallazgo que se alinea con la comprensión de que los canales en tierra contribuyen sustancialmente al desperdicio de agua, especialmente en suelos con altas tasas de infiltración (Shahzad et al., 2021). Adicionalmente, la porción revestida de los canales (48,50%) ha sufrido fisuramiento debido a una combinación de factores, incluyendo la falta de mantenimiento integral, el vaciado rápido por parte de los usuarios, y fenómenos hidrológicos extremos, como las inundaciones provocadas por El Niño de 1998, eventos que superaron la cota de construcción de los diques. Estas fallas en la infraestructura, combinadas con la ausencia de planos definitivos —existiendo solo planos de diseño con variantes respecto a lo construido—, impiden a la Junta de Usuarios realizar un diagnóstico técnico efectivo y justificar las intervenciones de mantenimiento correctivo y preventivo, lo que incrementa las horas de funcionamiento de las estaciones de bombeo y eleva los costos energéticos, afectando directamente la sostenibilidad económica del sistema (Popovych et al., 2023).

El análisis del desempeño hidráulico a través de las eficiencias parciales (Tabla 2) confirma los puntos débiles identificados en el diagnóstico. La eficiencia de conducción (canales principales) muestra un promedio de desempeño aceptable, aunque se observa una clara disparidad entre los dos canales principales, con uno exhibiendo una eficiencia marcadamente superior al otro. Esta diferencia subraya la localización del problema de pérdidas en tramos específicos de la red principal. La eficiencia de distribución (canales secundarios) exhibe una mayor variabilidad entre los diferentes subtramos evaluados, lo que sugiere que, si bien algunos canales tienen un buen desempeño, otros presentan pérdidas significativas que impactan el caudal disponible para la aplicación final. Los estudios sobre la evaluación de la eficiencia en sistemas de riego presurizado y abierto han demostrado que la variabilidad en la red secundaria es un desafío común que requiere una gestión dinámica del recurso (Gómez & Rodríguez, 2018; Clemmens & Burt, 2008). Sin embargo, la etapa más crítica es la eficiencia de aplicación en parcela, cuyos resultados evidencian un rendimiento considerablemente más bajo que el de las fases de conducción y distribución. La fluctuación extrema de valores entre las parcelas evaluadas refleja deficiencias sustanciales en la distribución del agua sobre el terreno cultivado, posiblemente atribuibles a prácticas de riego inadecuadas, condiciones edafológicas no controladas o la falta de infraestructura de control a nivel predial. Esta baja eficiencia de aplicación se convierte en el factor limitante principal del sistema, arrastrando la eficiencia total a un nivel moderado, lo que demanda intervenciones técnicas focalizadas y programas de capacitación a usuarios para optimizar el uso del agua y mejorar la productividad del cultivo, especialmente en el caso del arroz, cuya producción depende de un manejo hídrico preciso (De Datta, 1998).

La dimensión social e institucional del sistema San Jacinto (Tabla 3) revela que las pérdidas hídricas y el rendimiento técnico están inseparablemente ligados a la gobernanza y la percepción de equidad. La evaluación de las seis comunidades beneficiarias (La Fortuna, Bellavista, Buena Suerte, Luchadores de Balzar, La Alegría y Boquerón) muestra fuertes contrastes en la satisfacción y la cohesión social. La comunidad de Luchadores de Balzar presenta el mejor desempeño, con una alta satisfacción de los usuarios y un fuerte liderazgo, lo cual se correlaciona con la frecuencia de asambleas y el cumplimiento normativo. En contraposición, Buena Suerte registra la insatisfacción más alta, asociada a problemas de confianza y la percepción de favoritismo en la asignación de caudales, lo que subraya que la distribución desigual del agua es un motor de tensiones comunitarias. Las limitaciones institucionales complementan este cuadro: la lentitud en la respuesta técnica (Bellavista) y la falta de claridad en los roles (La Fortuna) minan la eficacia administrativa. Además, la preocupación por la sostenibilidad financiera a largo plazo (Boquerón) y las quejas por la infraestructura deficiente y el alto costo de las cuotas (La Alegría) reflejan que la capacidad de la Junta para ejecutar el mantenimiento y gestionar tarifas de manera autónoma es insuficiente. Un aspecto crucial y transversal es la invisibilización de la participación femenina en la gestión del agua, lo que representa una limitación de gobernanza que debe ser subsanada, reconociendo el papel esencial de las mujeres latinoamericanas en el sostenimiento socioeconómico del sector agrícola (Arroyo Pedraza, 2020; Santhanam-Martin et al., 2024).

En síntesis, la problemática del Sistema de Riego San Jacinto es de carácter multifacético, requiriendo un enfoque integral que combine la urgente evaluación técnica con el fortalecimiento de la gobernanza participativa. La falta de un diagnóstico físico actualizado y de herramientas digitales ha limitado históricamente la capacidad de la Junta de Usuarios para planificar y gestionar. Por ello, la implementación de tecnologías de la información, como la generación de cartografía temática y la digitalización de la infraestructura mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), se presenta como una solución fundamental para dotar a la administración de información precisa sobre las dimensiones y el estado físico de la red de canales (Buitron, 2014; Jiménez et al., 2021). Esta información digital no solo permitirá justificar el mantenimiento correctivo ante el nivel de Gobierno con competencia, sino que también sentará las bases para replicar el modelo metodológico de diagnóstico en otros sistemas con características similares (Tangarife Escobar et al., 2020). Solo a través de esta combinación de intervenciones físicas focalizadas, mejoras en la transparencia institucional y capacitación a los usuarios para elevar la crítica eficiencia de aplicación, se podrá garantizar la sostenibilidad a largo plazo del sistema, optimizando el aprovechamiento del recurso hídrico y fortaleciendo la equidad social en el acceso al agua.

Consideraciones finales

La interacción crítica entre las deficiencias de la infraestructura, la capacidad institucional limitada y los factores socioeconómicos que definen la sostenibilidad del Sistema de Riego y Drenaje San Jacinto. En el ámbito técnico, el sistema presenta una eficiencia hidráulica total moderada, la cual está fuertemente determinada por el desempeño deficiente en la etapa de aplicación en parcela. Las mayores pérdidas de agua no ocurren en los canales principales, sino en el punto de uso final, lo que subraya la urgencia de capacitar a los usuarios en mejores prácticas de riego y evaluar la infraestructura parcelaria. Esta problemática se ve exacerbada por deficiencias estructurales heredadas, como el 51,50% de la red de canales sin revestir y el deterioro de los tramos revestidos, lo que conlleva a un aumento en las pérdidas por percolación y eleva significativamente los costos operativos de bombeo, afectando la viabilidad económica de la Junta de Usuarios a largo plazo.

Agradecimientos

A mi casa de estudio “Alma mater”.

Conflicto de intereses

No se reporta conflicto de intereses.

Referencias

- Abdel-Fattah, M., Kantoush, S. A., Saber, M., & Sumi, T. (2020). Evaluation of Structural Measures for Flash Flood Mitigation in Wadi Abadi Region of Egypt. *Journal Of Hydrologic Engineering*, 26(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0002034](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0002034)
- Arroyo Pedraza, B. J. . (2020). El papel de las mujeres latinoamericanas en el sostenimiento socioeconómico de la región tras la crisis generada por la pandemia COVID-19. *Revista Ciencias Y Humanidades*, 11(11), 13-39. <https://doi.org/10.61497/za6kcv94>
- Baiamonte, G. (2024). Maximum Lateral Expansion of Wetting Bulbs from Buried and Surface Point Sources: Implications for Drip Irrigation Design. *Journal Of Hydrologic Engineering*, 29(5). <https://doi.org/10.1061/jhyeff.heeng-6235>
- Buitron, S. (2014). SIG Orientado a los Recursos Hídricos. En *Sistemas de Información Geográfica* (p. 132). Quito.

Dominguez Zúñiga , W. M. (2025). Impacto social de la eficiencia hidráulica en sistemas de riego: El caso de la red de canales del sistema San Jacinto. *e-Revista Multidisciplinaria Del Saber*, 3, e-RMS03102025. <https://doi.org/10.61286/e-rms.v3i.278>

Clemmens, A. J., & Burt, C. M. (2008). Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(6), 745–758. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2008\)134:6\(745\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:6(745))

De Datta, S. K. (1998). Manejo del agua para la producción de arroz. En S. K. De Datta, *Manejo del agua y necesidades de riego del arroz*.

Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales. (2010). *Criterios de Diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico*. Lima.

FAO. (2016). *Coping with water scarcity: An action framework for agriculture and food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i6459e/i6459e.pdf>

Flores García, E., Quezada Quezada, J. C., Flores Valdés, M. de los Ángeles, Reyes Sánchez, D. E., Sánchez Hernández, M. N., & Vargas Quezada, J. G. (2024). Sistema de riego y fumigación automático empleando control basado en PAC, monitoreo con HMI y detección de plaga mediante procesamiento de imágenes para el cultivo de frijol. *Boletín Científico INVESTIGIUM De La Escuela Superior De Tizayuca*, 9(18), 54–59. <https://doi.org/10.29057/est.v9i18.11097>

Gómez, E., & Rodríguez, J. (2018). Evaluación de la eficiencia en sistemas de riego presurizado en zonas áridas de México. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 10(2), 45–56. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2018.02.005>

Jiménez, A., Russo, B., Ruiz, O., & Acero, A. (2021). Eficiencia hidráulica y ambiental de cubiertas verdes en un clima mediterráneo continental seco. Aplicación a una nueva urbanización en la ciudad de Zaragoza (España). *Ingeniería del Agua*, 25(2), 127. <https://doi.org/10.4995/ia.2021.14112>

Jin, A., Wang, Q., Zhan, H., & Zhou, R. (2024). Comparative Performance Assessment of Physical-Based and Data-Driven Machine-Learning Models for Simulating Streamflow: A Case Study in Three Catchments across the US. *Journal Of Hydrologic Engineering*, 29(2). <https://doi.org/10.1061/jhyeff.heeng-6118>

Navarro, V. H. (2012). Hablemos de riego. Quito, Ecuador: Creadores Gráficos.

Niu, Z., Lv, Z., Zhang, Y., & Cui, Z. (2015). Stormwater infiltration and surface runoff pollution reduction performance of permeable pavement layers. *Environmental Science And Pollution Research*, 23(3), 2576-2587. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5466-7>

Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2012). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and management. *Agricultural Water Management*, 108, 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.002>

Popovych , O ., Stepanenko, T., Didukh, S ., Odnorog, M., & Krasnoselska, A. (2023). Problemas económicos y ecológicos del desarrollo agroindustrial. *REICE: Revista Electrónica De Investigación En Ciencias Económicas*, 11(21), 1–18. <https://doi.org/10.5377/reice.v11i21.16516>

Quinde Almeida, M. J., & Barbery Montoya, D. C. (2023). Factores que inciden en la asignación de recursos para automatización de sistemas de riego de Cuenca, Ecuador. *Pacha. Revista De Estudios Contemporáneos Del Sur Global*, 4(10), e2301084. <https://doi.org/10.46652/pacha.v4i10.184>

Dominguez Zúñiga , W. M. (2025). Impacto social de la eficiencia hidráulica en sistemas de riego: El caso de la red de canales del sistema San Jacinto. *e-Revista Multidisciplinaria Del Saber*, 3, e-RMS03102025. <https://doi.org/10.61286/e-rms.v3i.278>

Santhanam-Martin, M., Wilkinson, R., Cowan, L., & Nettle, R. (2024). Elaborating decent work for agriculture: Job experiences and workforce retention in the Australian orchard industry. *Journal Of Rural Studies*, 103330. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103330>

Shahzad, H., Myers, B., Hewa, G., Boland, J., & Johnson, T. (2021). Evaluating the Performance of a Hydrological Model to Represent Curbside Distributed Infiltration Wells in a Residential Catchment. *Journal Of Hydrologic Engineering*, 26(8). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0002112](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0002112)

Tangarife Escobar, H. I., Toro Meléndez, S. X., & Carmona Cadavid, C. V. (2020). Sistemas automatizados para el control del recurso hídrico y variables ambientales bajo invernadero: aplicaciones y tendencias. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 14(27), 91-98. <https://doi.org/10.31908/19098367.1796>

Tolosana Esteban, E. (2023). Conservar aprovechando: oportunidades y retos del siglo XXI. *Cuadernos De La Sociedad Española De Ciencias Forestales*, 49(2), 1-30. <https://doi.org/10.31167/csef.v0i49.19941>