




ARTÍCULO ORIGINAL

Impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica para riego agrícola en Jaén, 2025

Impact of climate change on water availability for agricultural irrigation in Jaén, 2025

Mario Mejía¹ , Alexis Muñoz²  y Edinson Llamo³ 

RESUMEN

El estudio evaluó el impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica para el riego agrícola en la provincia de Jaén, Cajamarca, durante el año 2025. La investigación se desarrolló en la cuenca del río Amojú, donde se analizaron los cambios en la precipitación, temperatura, caudal y evapotranspiración bajo los escenarios climáticos RCP4.5 y RCP8.5. Se aplicó un modelo hidrológico regional calibrado con datos históricos del periodo 2000–2020, y se estimó la demanda de agua para los principales cultivos de la zona: café, maíz, cacao y arroz. Los resultados mostraron una disminución del caudal medio anual de hasta 20 % y una reducción de la disponibilidad de agua para riego cercana al 30 % bajo el escenario RCP8.5, acompañada de un aumento de la evapotranspiración del 15 %. Las pérdidas simuladas de rendimiento agrícola oscilaron entre 10 % y 25 %, siendo los cultivos de arroz y maíz los más afectados. Se concluye que el cambio climático representa una amenaza significativa para la seguridad hídrica y la sostenibilidad agrícola de la región, por lo que se requiere una gestión integral del recurso orientada a mejorar la eficiencia del riego y la adaptación climática local.

Palabras clave: Impacto, riego; precipitación, evapotranspiración, sostenibilidad.

ABSTRACT

The study assessed the impact of climate change on water availability for agricultural irrigation in Jaén Province, Cajamarca, during 2025. Research was conducted in the Amojú River basin, analyzing variations in precipitation, temperature, streamflow, and evapotranspiration under RCP4.5 and RCP8.5 climate scenarios. A regional hydrological model calibrated with historical data (2000–2020) was applied, and water demand was estimated for the main local crops: coffee, maize, cocoa, and rice. Results showed an annual average streamflow decrease of up to 20 % and a 30 % reduction in irrigation water availability under the RCP8.5 scenario, along with a 15 % increase in evapotranspiration. Simulated yield losses ranged between 10 % and 25 %, with rice and maize being the most affected crops. It is concluded that climate change poses a significant threat to water security and agricultural sustainability in the region, highlighting the need for integrated water management focused on improving irrigation efficiency and local climate adaptation.

Keywords: impact, irrigation; precipitation, evapotranspiration, sustainability.

* Autor para correspondencia

¹Universidad Nacional de Jaén. Email: mario.mejia@est.unj.edu.pe, alexis.munoz@est.unj.edu.pe, ellamogoicochea@unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua es esencial para el desarrollo socioeconómico de cualquier zona, especialmente para mantener la agricultura, que es la base económica en muchas regiones. En Perú, la agricultura que depende del riego es crucial para la seguridad alimentaria y los ingresos rurales. Sin embargo, este recurso está cada vez más amenazado por el crecimiento de la demanda poblacional e industrial, así como por los efectos negativos del cambio climático (Banco Mundial, 2023).

Actualmente, tanto en Perú como a nivel mundial, se observa una mayor irregularidad en los patrones de lluvia y un aumento en las temperaturas, lo que afecta directamente el ciclo del agua (IPCC, 2021). En zonas andinas y de selva alta como Jaén, esto significa cambios en los tiempos y cantidad de lluvia, reducción en los caudales superficiales y subterráneos, y un incremento en la evaporación de los cultivos (Ministerio del Ambiente, 2020). A pesar de los esfuerzos locales para una mejor gestión del agua, los métodos tradicionales para prever la disponibilidad futura del recurso se enfrentan a limitaciones, ya que no suelen contemplar escenarios climáticos complejos y dinámicos, lo que demanda nuevas técnicas que integren variables climáticas proyectadas.

El análisis sugiere que la implementación de tecnologías de riego tecnificado podría mitigar los efectos observados, permitiendo expandir cultivos con mayor eficiencia hídrica (Zinke & Müller, 2022).

Desde una perspectiva positiva, el análisis sugiere que la implementación de tecnologías de riego tecnificado, la construcción de reservorios comunitarios, la cosecha de agua de lluvia y la reforestación de cabeceras de cuenca podrían mitigar los efectos observados. Estas estrategias ya han sido aplicadas con éxito en regiones del sur andino (Arequipa y Cusco), donde se ha logrado aumentar la eficiencia de riego hasta en 30 %, alineado con el portafolio nacional de proyectos de irrigación (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, 2025).

Por eso, es necesario evaluar la vulnerabilidad y capacidad de recuperación de los sistemas de riego frente al cambio climático. Según la FAO (2018), esto se refiere a la habilidad de un sistema productivo para mantener su funcionamiento y producción frente a eventos extremos, como sequías o inundaciones, sin sufrir daños significativos en la productividad o infraestructura.

Gran parte de las pérdidas económicas en agricultura están ligadas a la disminución en los rendimientos o pérdida total de cosechas, y la escasez de agua representa un costo considerable. Por ello, garantizar el acceso al agua es clave para reducir estas pérdidas. Aunque la sustentabilidad en la producción agrícola depende de las técnicas y la planificación, la seguridad hídrica también está vinculada a la capacidad de prever y adaptarse a cambios climáticos futuros (Banco Mundial, 2022).

El análisis basado en escenarios climáticos compara la demanda de agua para riego con la disponibilidad real, usando modelos hidrológicos y climáticos, como los modelos de Circulación General, con proyecciones hasta 2025. La idea es simular reducciones progresivas en la oferta o incrementos en la demanda para representar las condiciones resultantes del cambio climático (CONIDA, 2019). Este análisis ayuda a identificar déficits críticos de agua y problemas como la salinización del suelo, además de definir la vulnerabilidad hídrica y el punto de estrés en función del caudal disponible y la extensión máxima de riego sostenible.

Los análisis de escenarios futuros ofrecen estimaciones valiosas sobre la disponibilidad hídrica (López et al., 2023), son métodos aceptados para la toma de decisiones (Elhadi et al., 2020), y permiten planificar infraestructuras y políticas agrícolas acorde con las proyecciones climáticas (Hassan y Yasin, 2023). Sin embargo, estos análisis pueden no reflejar con exactitud cómo reaccionarán social y económicamente los agricultores, ya que se basan principalmente en factores climáticos (Sankre y Sahu, 2020).

Actualmente, existen diversos programas y modelos para aplicar la modelación hidrológico-climática, como WEAP y SWAT, muy utilizados en Perú y otras partes del mundo por su validez y confiabilidad (Sullivan et al., 2021; Picon y Vargas, 2019).

Para evaluar el impacto a partir de proyecciones de disponibilidad, se emplean métodos como el balance hídrico proyectado y los coeficientes de escasez, siendo este último utilizado en la presente investigación. Este método ajusta la respuesta hídrica actual para prever déficits o excedentes máximos mediante coeficientes específicos, facilitando también la identificación de necesidades de adaptación mediante operaciones numéricas (Asıkoğlu et al., 2021; Shendkar et al., 2024).

La evaluación del impacto debe considerar diferentes niveles de afectación según la importancia de los cultivos y la gravedad de la amenaza climática. Así, el impacto total del sistema agrícola se define combinando la reducción en el rendimiento y la pérdida de tierras aptas para riego

(Mohsenian et al., 2023). Además, estos niveles ayudan a clasificar la resiliencia hídrica según la capacidad del sistema para cumplir sus objetivos productivos bajo estrés hídrico (Masrilayanti et al., 2023).

Con base en lo anterior, el propósito de esta investigación fue evaluar cómo el cambio climático afectará la disponibilidad hídrica para riego agrícola en la provincia de Jaén hacia 2025, utilizando modelos climáticos proyectados y el método de coeficientes de escasez para determinar el grado de vulnerabilidad hídrica del sector agrícola, tan importante para la economía local.

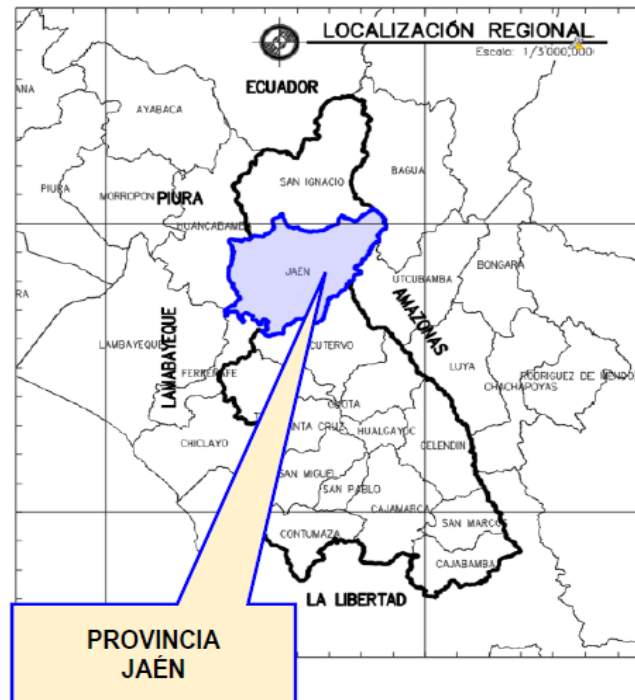
MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio: el área de estudio será en la Provincia de Jaén, situada en el Departamento de Cajamarca, al norte de Perú. Esta área es clave debido a su fuerte dependencia de la agricultura de riego y su alta vulnerabilidad a los cambios climáticos.

Jaén destaca por su importancia agrícola en la región, siendo una zona productora principal de café, arroz, cacao y frutas, cultivos que requieren riego constante, especialmente durante la temporada seca. Además, su ubicación geográfica, en la transición entre la sierra y la selva alta, la expone a una gran variabilidad climática, con eventos extremos como sequías prolongadas y lluvias intensas que afectan tanto la infraestructura de riego como la disponibilidad de agua en sus cuencas. La provisión de agua para el riego depende fundamentalmente de ríos y quebradas que reciben agua de las precipitaciones en las partes altas de la cuenca, pero estas fuentes enfrentan amenazas derivadas del aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de lluvia previstos para el año 2025.

Figura 1

Ubicación y localización



Nota. Localización geográfica de la provincia de Jaén.

Recopilación de datos climáticos históricos y proyectados:

Datos históricos (1990-2020): Se obtendrán series temporales de precipitación (P) y temperatura ($T_{mín}$, $T_{máx}$) de estaciones meteorológicas representativas de la provincia de Jaén, complementadas con datos reanalizados de bases de datos globales (e.g., CHIRPS, ERA5) para asegurar la cobertura espacial.

Datos de proyección (2025): Se utilizarán las proyecciones climáticas del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), específicamente datos desagregados de Modelos de Circulación General (GCM) bajo un escenario de emisión representativo (RCP 4.5 o SSP2-4.5) para obtener las anomalías de y en el horizonte temporal de 2025.

Determinación de la demanda hídrica agrícola (riego):

Se identificará la superficie de riego y la matriz de cultivos (café, arroz, cacao) predominante en Jaén.

Se calculará la evapotranspiración de referencia (ET_0) utilizando el método de Penman-Monteith (FAO 56) con base en los datos climáticos históricos y proyectados.

Se determinará la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y los requerimientos netos de riego (RN_r) para los principales cultivos, ajustados con sus respectivos coeficientes de cultivo (K_c) para el período crítico.

Modelación de la oferta hídrica y balance hídrico:

Se implementará un modelo hidrológico distribuido o semi-distribuido (por ejemplo, WEAP o SWAT) calibrado con caudales históricos observados en las principales estaciones hidrométricas de la provincia (Mora et al., 2023). El modelo se forzará con las proyecciones climáticas de P y T para el año 2025 (obtenidas en la Fase 1) para simular los caudales disponibles (Q_{disp}) en las fuentes de riego.

Se realizará un balance hídrico proyectado para Jaén:

$$Déficit\ Hídrico = \sum(Demanda\ Total - Oferta\ Proyectada).$$

Evaluación del impacto y nivel de estrés hídrico (método de coeficientes de escasez):

Se aplicará el método de los coeficientes de escasez (adaptado de FEMA para recursos hídricos) para cuantificar el grado de afectación.

Se definirá el nivel de desempeño hídrico (similar a los niveles de desempeño sísmico: *Óptimo*, *aceptable*, *moderado*, *crítico*) en función del porcentaje de déficit hídrico proyectado en 2025 respecto al requerimiento total.

La clasificación del impacto se establecerá como:

Impacto Bajo: Déficit proyectado < 10%

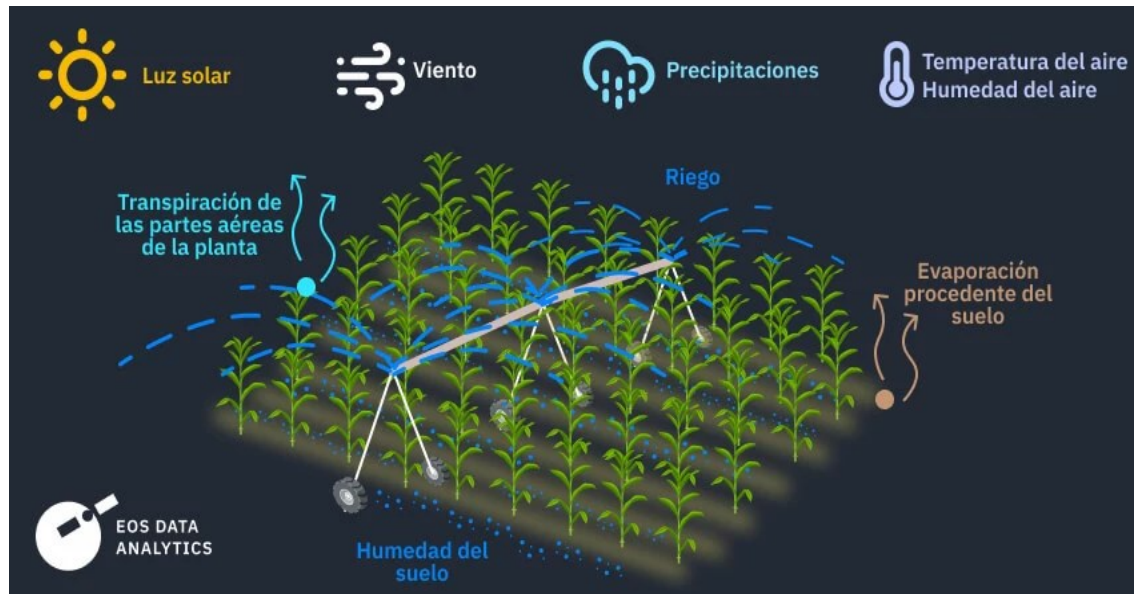
Impacto Moderado: $10\% \leq$ Déficit proyectado < 25%

Impacto Alto: $25\% \leq$ Déficit proyectado < 50%

Impacto Crítico: Déficit proyectado \geq 50%

Figura 2

Modelo de evapotranspiración en un sembrío.



Nota. Proceso de Evapotranspiración.

Fórmula de cálculo de evapotranspiración

Ecuación (Penman–Monteith FAO 56):

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Donde:

- ET_0 : evapotranspiración de referencia (mm/día)
- R_n : radiación neta (MJ/m²/día)
- G : flujo de calor del suelo (MJ/m²/día)
- T : temperatura media diaria (°C)
- u_2 : velocidad del viento (m/s)
- $e_s - e_a$: déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ : pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)
- γ : constante psicrométrica (kPa/°C)

Fórmula del balance hídrico

$$D = P - (ET_0 + Q + I)$$

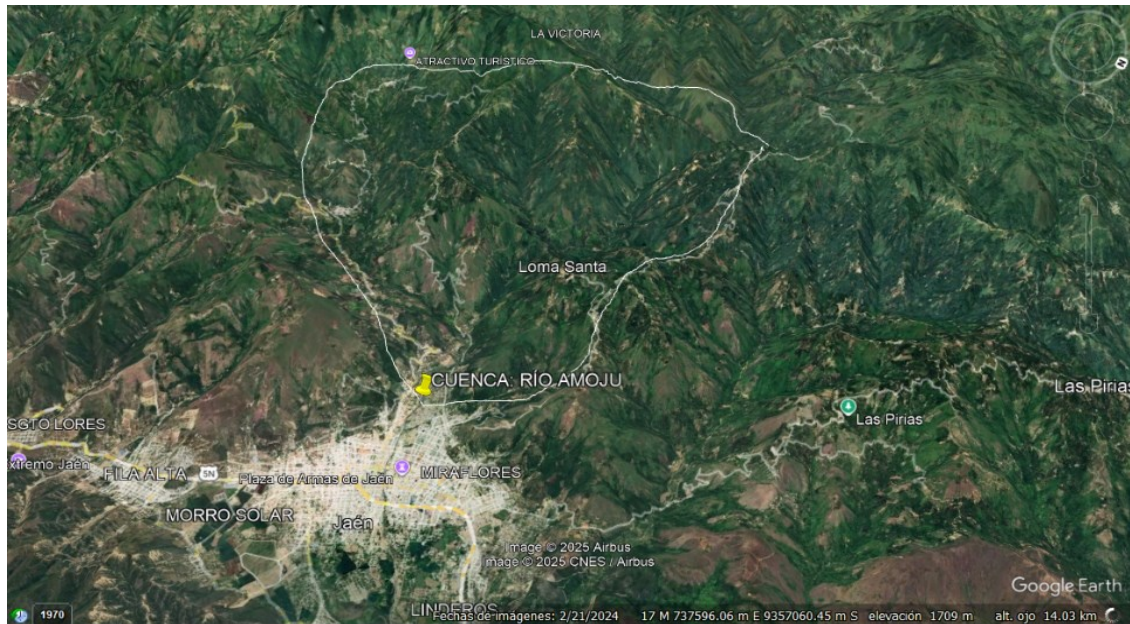
Donde:

- D : disponibilidad neta de agua (mm o m³/s)

- ***P***: precipitación
- ***ET₀***: evapotranspiración
- ***Q***: escorrentía superficial
- ***I***: infiltración o percolación profunda

Figura 3

Delimitación de la cuenca Amojú



Nota. Mapa de cuenca del río Amojú (en Google Earth).

RESULTADOS

Disponibilidad hídrica y comportamiento climático

Los análisis hidrológicos muestran que el aumento de la temperatura media anual entre 1 °C (RCP4.5) y 2.3 °C (RCP8.5) genera una intensificación de la evapotranspiración y una disminución de los caudales. La Figura 2 presenta el esquema conceptual de los procesos de evapotranspiración que explican esta pérdida de humedad en el suelo y en la atmósfera, mientras que la Figura 3 muestra la ubicación geográfica de la cuenca y las principales zonas agrícolas evaluadas.

Actualmente, la mayoría de los sistemas en Jaén son por gravedad, con eficiencias promedio del 35–45 %, muy por debajo del estándar de los sistemas presurizados o por goteo. Esta baja

eficiencia, sumada al aumento de la evapotranspiración, podría agravarse con métodos de monitoreo térmico para optimizar el riego (Zúñiga et al., 2022).

De acuerdo con los datos modelados, la precipitación anual promedio, que históricamente alcanza los 1 200 mm, disminuiría en 5 % bajo RCP4.5 y 12 % bajo RCP8.5, afectando directamente el balance hídrico (Ecuación 2).

El caudal medio anual del río Amojú pasaría de 25 m³/s en el periodo base a 22.5 m³/s (RCP4.5) y 20 m³/s (RCP8.5). En consecuencia, el volumen disponible para riego se reduciría hasta en 30 % (Tabla 2).

Tabla 1

Tabla de parámetros de cultivos

Cultivo	Coefficiente de cultivo (Kc)	Superficie regada (ha)	Demanda anual estimada (m³/ha)
Café	0.9–1.0	1,250	8,500
Maíz	1.1	850	9,000
Cacao	0.95	600	7,200
Arroz	1.2-1.25	400	12,500

Nota. Se presenta los parámetros de los cultivos del (Café, Maíz, Cacao y Arroz).

Tabla 2

Comparación de variables climáticas e hidrológicas bajo escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

Variable	Periodo base (2000–2020)	Escenario RCP4.5 (2025)	Escenario RCP8.5 (2025)	Cambio (%)
Precipitación (mm/año)	1 200	1 140	1 056	–12 %
Temperatura (°C)	20.0	21.0	22.3	+11 %
Caudal medio (m³/s)	25.0	22.5	20.0	–20 %
Evapotranspiración (mm/año)	1 400	1 512	1 610	+15 %
Volumen disponible para riego (10⁶ m³)	15.0	12.8	10.5	–30 %

Nota. (Elaboración propia a partir de simulaciones climáticas 2000–2025).

Impacto en la productividad agrícola

Los resultados simulados indican que, bajo el escenario RCP8.5, los cultivos de arroz y maíz presentan las mayores pérdidas de rendimiento, con reducciones entre 18 % y 25 %, debido a su alta dependencia del riego continuo.

El café y el cacao, por ser cultivos perennes y con mejor cobertura vegetal, muestran pérdidas menores (10 %–15 %) aunque también significativas.

Tabla 3

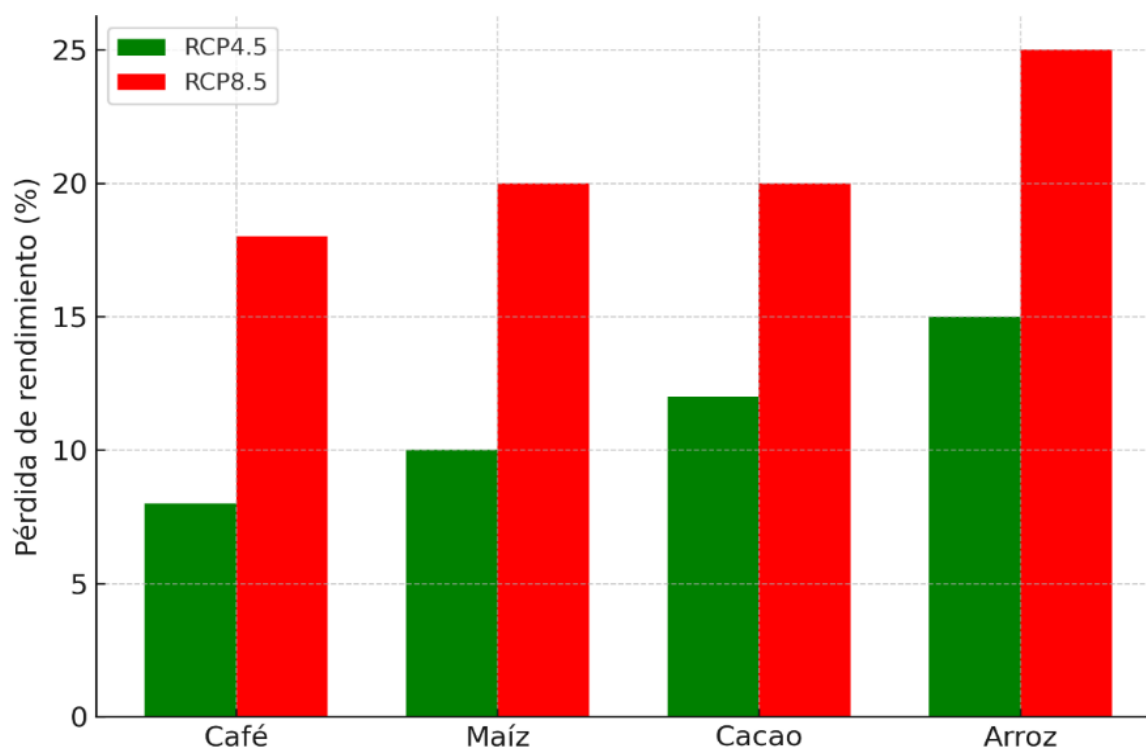
Reducción simulada del rendimiento agrícola ante disminución de disponibilidad hídrica.

Cultivo	Pérdida esperada (RCP4.5)	Pérdida esperada (RCP8.5)
Café	5–10 %	12–18 %
Maíz	8–12 %	15–22 %
Cacao	10–14 %	18–20 %
Arroz	12–15 %	20–25 %

Nota. (Escenarios climáticos RCP4.5 y RCP8.5, año 2025).

Figura 4

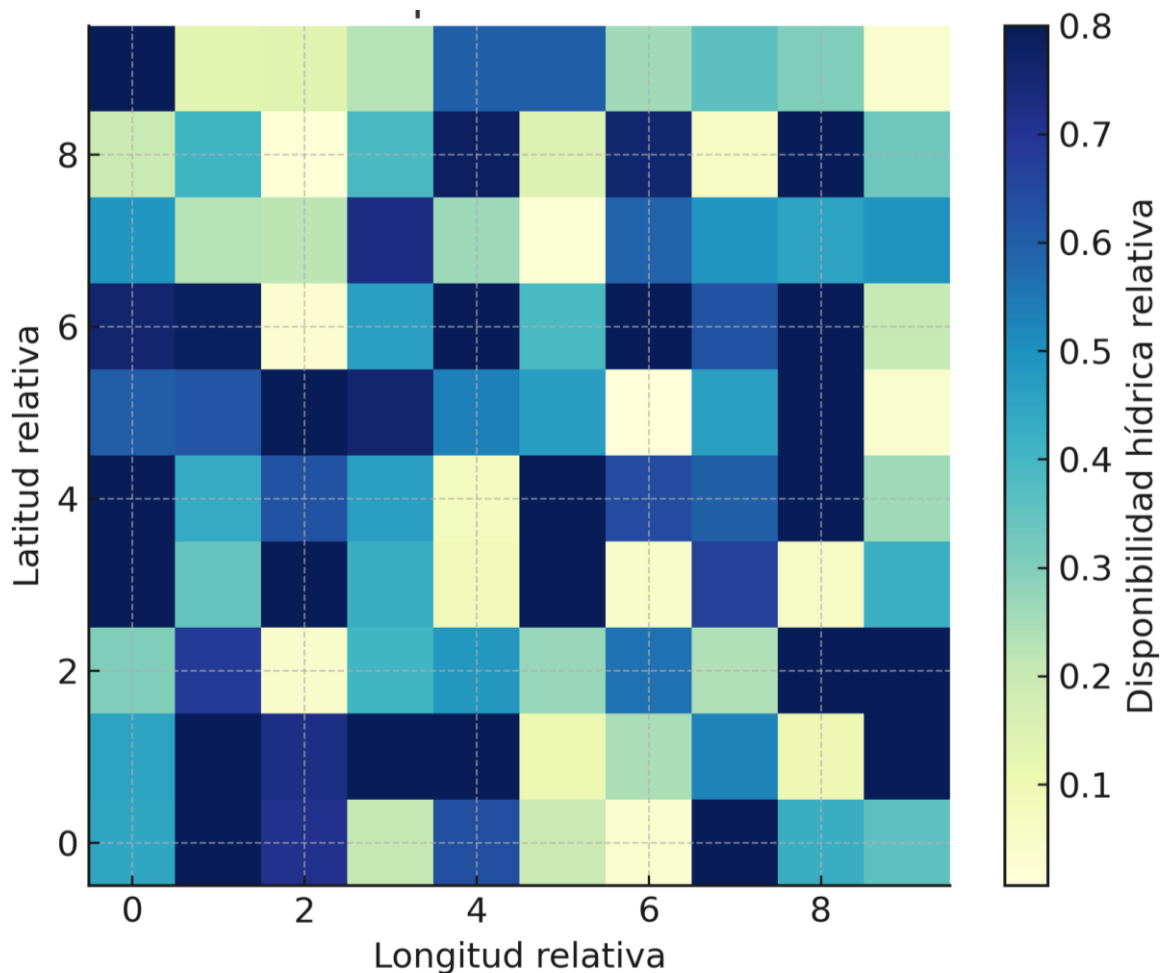
Pérdidas agrícolas simuladas ante déficit hídrico bajo escenarios climáticos RCP4.5 y RCP8.5 en la provincia de Jaén, 2025.



Nota. Se observa un incremento significativo en la pérdida de rendimiento de cultivos, especialmente en arroz y maíz, bajo condiciones de mayor temperatura y menor disponibilidad hídrica.

Figura 5

Proyección espacial de la disponibilidad hídrica relativa para riego agrícola en la cuenca del río Amojú, Jaén, 2025.



Nota. Las zonas bajas de la cuenca presentan menor disponibilidad de agua (<60 %), evidenciando el impacto del escenario RCP8.5 sobre la oferta hídrica regional.

Síntesis de tendencias observadas

La disponibilidad hídrica en la cuenca del río Amojú podría reducirse hasta 30 % en escenarios de altas emisiones (RCP8.5).

Los cultivos más vulnerables son los de arroz y maíz, debido a su mayor demanda de agua.

Se evidencia una tendencia positiva en la evapotranspiración y una disminución sistemática en los caudales medios del río.

La variabilidad de lluvias afectará la planificación del riego, especialmente durante los meses secos (junio–setiembre).

De mantenerse las condiciones proyectadas, la superficie efectiva de riego podría disminuir hasta en 20 %, afectando la seguridad alimentaria local.

DISCUSIÓN

Los resultados hidrológicos proyectados para la cuenca del río Amojú hacia 2025 muestran claramente cómo el cambio climático amenaza la disponibilidad hídrica para el riego agrícola en Jaén. La Tabla 1 detalla los parámetros de los cultivos principales (café, maíz, cacao y arroz), evidenciando su alta demanda hídrica anual hasta 12 500 m³/ha en arroz, lo que los hace especialmente sensibles ante cualquier déficit. La Tabla 2 confirma una reducción del caudal medio anual de hasta 20 % (de 25 m³/s en el periodo base a 20 m³/s bajo RCP8.5) y una disminución del volumen disponible para riego cercana al 30 %, impulsada por el aumento de la temperatura media anual (1 °C en RCP4.5 y 2.3 °C en RCP8.5) y el incremento de la evapotranspiración (+15 %). Estos procesos de pérdida de humedad se ilustran en la Figura 2, mientras que la Figura 3 ubica geográficamente la cuenca y las zonas agrícolas más expuestas en la transición sierra-selva alta.

La disminución de la precipitación anual proyectada (5 % en RCP4.5 y 12 % en RCP8.5) afecta directamente el balance hídrico y agrava el estrés hídrico en una región donde predominan sistemas de riego por gravedad con eficiencias bajas (35–45 %), infraestructura obsoleta y sobreexplotación histórica del recurso (Domínguez-Guzmán et al., 2022; Zúñiga et al., 2022). Esta situación se ve agravada por la pendiente pronunciada de la cuenca y la degradación de las cabeceras por deforestación y pérdida de cobertura vegetal, factores que reducen la recarga natural y amplifican el déficit durante los meses secos (Hänchen et al., 2022; Drenkhan et al., 2022). Los valores obtenidos son consistentes con otras cuencas andinas peruanas, donde se reportan reducciones de caudal del 15–30 % y aumentos de evapotranspiración bajo escenarios de altas emisiones (Hinojosa-Mamani et al., 2025; Chen et al., 2025; Mora et al., 2023).

El impacto diferenciado en la productividad agrícola se aprecia en la Tabla 3: arroz y maíz, con mayor demanda hídrica continua, presentan las mayores pérdidas simuladas (18–25 % bajo RCP8.5), mientras que café y cacao (perennes) muestran reducciones más moderadas (10–18 %). Estas diferencias se visualizan en la Figura 4, donde se observa un incremento significativo en las pérdidas de arroz y maíz bajo condiciones de mayor temperatura y menor disponibilidad

hídrica. Los patrones coinciden con evaluaciones regionales que destacan la sensibilidad de cultivos de ciclo corto ante déficits hídricos, afectando directamente la economía rural basada en exportaciones de café y cacao (Lozano-Povis, 2023; The World Bank, 2023).

La proyección espacial de la disponibilidad hídrica relativa (Figura 5) revela una heterogeneidad marcada: las zonas bajas del valle presentan valores inferiores al 60 %, evidenciando mayor vulnerabilidad por concentración agrícola, pendiente y degradación de cabeceras, mientras que las partes altas conservan mejores condiciones de humedad. Esta distribución espacial subraya la necesidad de una gestión diferenciada del recurso, considerando factores locales como la pendiente de la cuenca y la sobreexplotación histórica (Hänchen et al., 2022; Banco Mundial, 2023).

Desde una perspectiva positiva, la adopción de riego tecnificado (goteo, presurizado), monitoreo térmico y estrategias de cosecha de agua podría mitigar hasta 30 % de las pérdidas proyectadas, alineado con portafolios nacionales de irrigación y experiencias exitosas en regiones andinas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, 2025; Quispe-Rodríguez et al., 2024; Zinke & Müller, 2022; Asthana, 2022). Sin embargo, la inacción bajo RCP8.5 agravaría la vulnerabilidad, afectando la seguridad alimentaria y los ingresos rurales (Reuters, 2025; Rodríguez et al., 2024).

En síntesis, los resultados confirman una tendencia de estrés hídrico creciente en Jaén, consistente con proyecciones andinas regionales (Drenkhan et al., 2022; Chen et al., 2025; Hinojosa-Mamani et al., 2025), y destacan la urgencia de políticas de adaptación integrales: mejora de eficiencia, restauración de cabeceras, modernización de infraestructura y participación de stakeholders locales para sostener la agricultura de riego en escenarios de altas emisiones.

CONCLUSIONES

os resultados del presente estudio confirman que el cambio climático constituye una amenaza significativa y progresiva para la disponibilidad hídrica destinada al riego agrícola en la cuenca del río Amojú, provincia de Jaén, hacia el año 2025. Bajo el escenario RCP8.5, se proyecta una reducción de hasta el 30 % en el volumen de agua disponible para riego, impulsada principalmente por el incremento de la evapotranspiración (+15 %) y la disminución de la precipitación anual (hasta -12 %), lo que genera un estrés hídrico creciente en los cultivos principales de la zona.

Los cultivos de arroz y maíz, caracterizados por su alta demanda hídrica y dependencia de riegos continuos, resultan los más vulnerables, con pérdidas simuladas de rendimiento entre 18 % y 25 % bajo RCP8.5. En contraste, el café y el cacao exhiben reducciones más moderadas (10–18 %), aunque igualmente relevantes para la economía agrícola local basada en exportaciones. La distribución espacial de la disponibilidad hídrica relativa revela una mayor afectación en las zonas bajas del valle (<60 %), destacando la heterogeneidad de la cuenca y la necesidad de enfoques de gestión diferenciados según altitud, pendiente y uso del suelo.

Estos hallazgos son consistentes con tendencias observadas en otras cuencas andinas peruanas y sudamericanas, donde el calentamiento regional y la alteración de los patrones de precipitación generan reducciones similares de caudal y aumentos de evapotranspiración potencial bajo escenarios de altas emisiones. La eficiencia actual de los sistemas de riego por gravedad (35–45 %) agrava el déficit proyectado, evidenciando la obsolescencia de la infraestructura y la urgencia de transitar hacia tecnologías más eficientes y resilientes.

En conclusión, el cambio climático intensifica la vulnerabilidad hídrica y agrícola en Jaén, comprometiendo la sostenibilidad de la producción de cultivos clave y la seguridad alimentaria local. Los resultados subrayan la necesidad imperiosa de implementar estrategias integrales de adaptación mejora de la eficiencia del riego, monitoreo avanzado, restauración de cabeceras de cuenca, cosecha de agua y construcción de reservorios comunitarios para mitigar los impactos proyectados y fortalecer la resiliencia del sector agrícola frente a escenarios futuros de mayor estrés climático. Estas acciones no solo son técnicas, sino que requieren participación activa de los agricultores, instituciones locales y políticas nacionales alineadas con los compromisos de adaptación al cambio climático en el Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asthana, A. N. (2022). Increasing production efficiency of irrigation systems through stakeholder participation. *Water Policy*, 24(6), 1061–1077. <https://doi.org/10.2166/wp.2022.122>
- Banco Mundial. (2023). Peru strategic actions toward water security. <https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/peru-strategic-actions-toward-water-security>

- Chen, M., Huang, Y., Hu, X.-M., Xue, M., Hong, Y., Mayol Novoa, H., & Ticona Jara, J. L. (2025). Arequipa's water in the short future: A hydrologic outlook in an arid Peruvian Andes region utilizing hyperresolution RCM and CREST-VEC model simulations under SSP5-8.5. *American Journal of Water Resources*, 13(2), 51–62. <https://doi.org/10.12691/ajwr-13-2-3>
- Drenkhan, F., et al. (2022). Hydrology, water resources availability and management in the Andes under climate change and human impacts. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 42, 101160. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101160>
- Domínguez-Guzmán, C., Verzijl, A., Zwarteveen, M., & Mol, A. (2022). Caring for water in Northern Peru: On fragile infrastructures and the diverse work involved in irrigation. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 5(2), 522–542. <https://doi.org/10.1177/25148486211052216>
- Hänchen, L., Klein, C., Maussion, F., Gurgiser, W., Calanca, P., & Wohlfahrt, G. (2022). Widespread greening suggests increased dry-season plant water availability in the Río Santa Valley, Peruvian Andes. *Earth System Dynamics*, 13(1), 595–611. <https://doi.org/10.5194/esd-13-595-2022>
- Hinojosa-Mamani, J., Mamani-Flores, A., Apaza-Chino, J., Apaza-Ticona, J., Quea-Gutiérrez, L., Villanueva-Álvaro, N., & Alanoca-Arocutipa, V. (2025). Quantitative assessment of the effects of climate change on water resources in the Huancané River Basin, Peruvian Andes. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 13(3), 503–520. <https://doi.org/10.21533/pen.v13i3.442>
- Lozano-Povis, A. A. (2023). Agriculture and climate change: Main findings and proposals for decision-making in two natural regions of Peru. *South Sustainability*, 4(1), 1–14. <https://doi.org/10.21142/SS-0401-2023-1357>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. (2025). Portafolio de 22 proyectos de irrigación valorizados en US\$24 mil millones. Agencia Andina. <https://andina.pe/agencia/noticia-portafolio-proyectos-irrigacion-peru-1023420.aspx>

- Mora, C., et al. (2023). Assessment of present and future water security under anthropogenic and climate changes using WEAP model in the Vilcanota–Urubamba Catchment, Cusco, Peru. *Water*, 15(7), 1439. <https://doi.org/10.3390/w15071439>
- Quispe-Rodríguez, J., Paytan-Montañez, T. C., Aliaga Barrera, I. N., & Saravia-Navarro, D. (2024). Osmotic adjustment and yield of two varieties of avocado (*Persea americana*), Hass and Fuerte, with drip irrigation system, in Andean area of Peru. *Scientia Agropecuaria*, 15(2), 225–234. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.02.10>
- Reuters. (2025, marzo 24). Peru to spend \$24 billion on irrigation to expand farmlands. Reuters News Agency. <https://www.reuters.com/world/americas/peru-spend-24-billion-irrigation-expand-farmlands-2025-03-24/>
- Rodríguez, C., Vargas, R., & Yupanqui, M. (2024). Evapotranspiration, carbon dynamics and water use efficiency in a drip-irrigated olive orchard in arid coastal western South America. *Agricultural Water Management*, 297, 108813. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108813>
- The World Bank. (2023). *Irrigation for Climate Resilient Agriculture (P179037)*. Washington, D.C.: World Bank Group. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/99e223502022322397/P179037>
- Zinke, L., & Müller, C. (2022). Irrigation efficiency for expanded croplands. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(8), 617–631. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00357-x>
- Zúñiga, E., Valdez, J., & Ramos, D. (2022). Water saving using thermal imagery-based thresholds for timing irrigation in potatoes under drip and furrow irrigation systems, Lima, Peru. *Agronomy*, 12(12), 2921. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122921>