



ARTÍCULO

EFICIENCIA TÉCNICA EX POST DE PROYECTOS PÚBLICOS DE RIEGO PRESURIZADO EN EL PERÚ: APLICACIÓN DEL MODELO DEA-VRS Y ANÁLISIS DE ROBUSTEZ

Cyntia Salazar-Munive¹, Milena Dueñas-Yupanqui², Max Roiro-Vallejo³, Juan Cerrón-Aliaga⁴

¹Professional Academic School of Economics, Faculty of Business Sciences, Universidad Continental, Av. San Carlos 1980, Huancayo, Perú. Email: 43485714@continental.edu.pe.

²Professional Academic School of Economics, Faculty of Business Sciences, Universidad Continental, Av. San Carlos 1980, Huancayo, Perú. Email: 75065224@continental.edu.pe.

³Professional Academic School of Economics, Faculty of Business Sciences, Universidad Continental, Av. San Carlos 1980, Huancayo, Perú. Email: 70785270@continental.edu.pe.

⁴Professional Academic School of Economics, Faculty of Business Sciences, Universidad Continental, Av. San Carlos 1980, Huancayo, Perú. Email: 70785270@continental.edu.pe.

*Corresponding author: Email: 75065224@continental.edu.pe

Jel Codes:

Palabras clave:

Eficiencia técnica;
Evaluación *ex post*; DEA-VRS; Inversión pública;
Riego presurizado;
Gobernanza del agua.

Keywords:

Technical Efficiency;
ex post evaluation;
DEA-VRS model;
public investment;
pressurized irrigation;
water governance

Resumen: El presente estudio evalúa la eficiencia técnica *ex post* de setenta y un proyectos públicos de riego presurizado ejecutados en la región Junín, Perú, durante el periodo 2018-2022. Se aplicó el modelo de Análisis Envolvente de Datos (DEA) bajo supuestos de rendimientos variables a escala (VRS) y orientación a producto, complementado con un análisis de robustez mediante el procedimiento DEA-bootstrap y un segundo estadio truncado. Los resultados muestran una eficiencia técnica promedio de 0.78, lo que indica un potencial de incremento de los outputs en un 22 % sin ampliar los recursos utilizados. Las diferencias territoriales en eficiencia revelan retornos decrecientes en proyectos sobredimensionados y mejores desempeños en aquellos de escala intermedia. Asimismo, la existencia de organizaciones de usuarios de agua, planes de mantenimiento y asistencia técnica post-obra presentan una relación positiva y significativa con la eficiencia corregida. Estos hallazgos confirman que la eficiencia del gasto público en riego depende tanto del diseño técnico como de la gobernanza institucional. Se recomienda incorporar indicadores de eficiencia técnica en las fases de priorización y evaluación *ex ante* de proyectos, fortaleciendo la sostenibilidad y la rendición de cuentas del Sistema Nacional de Inversión Pública (*Invierte.pe*).

Abstract: This study assesses the *ex post* technical efficiency of seventy-one public pressurized irrigation projects implemented in the Junín region, Peru, between 2018 and 2022. A Data Envelopment Analysis (DEA) model under variable returns to scale (VRS) and output orientation was applied, complemented by a DEA-bootstrap robustness test and a truncated second-stage regression. The results reveal an average technical efficiency of 0.78, indicating a 22 % potential increase in output without expanding inputs. Territorial differences show decreasing returns in oversized projects and higher efficiency among medium-scale systems. Institutional factors—such as the presence of water user organizations, maintenance plans, and post-project technical assistance—display a positive and significant association with corrected efficiency scores. These findings demonstrate that public irrigation efficiency depends not only on technical design but also on governance quality. Incorporating efficiency indicators into the *ex-ante* evaluation phase of *Invierte.pe* projects is recommended to enhance sustainability and accountability in public investment management.

1. INTRODUCCIÓN

El riego agrícola constituye una de las principales herramientas de política pública para incrementar la productividad rural y reducir la vulnerabilidad de los pequeños productores frente a la variabilidad climática. En América Latina, la expansión de la infraestructura de riego presurizado se ha promovido como instrumento de desarrollo territorial, pero los resultados en términos de eficiencia del gasto y sostenibilidad han sido dispares (Fragoso, Coelho, Pereira, & Ortega, 2024). En el caso peruano, los proyectos de riego ejecutados mediante el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (*Invierte.pe*) representan una proporción significativa del presupuesto agrario; sin embargo, la evidencia empírica sobre su desempeño técnico y su contribución efectiva a la productividad agrícola sigue siendo limitada.

La evaluación *ex post* de la inversión pública busca determinar en qué medida los proyectos culminados han logrado sus objetivos de eficacia, eficiencia y sostenibilidad (MEF, 2021). No obstante, los mecanismos tradicionales de evaluación en el Perú se concentran principalmente en aspectos administrativos o de ejecución físico-financiera, dejando de lado la medición de la eficiencia técnica como indicador de desempeño del gasto público. Este vacío metodológico impide conocer si los recursos públicos se transforman de manera óptima en resultados tangibles, como la ampliación de hectáreas tecnificadas o el incremento de beneficiarios rurales. A nivel internacional, diversos estudios han demostrado que el análisis envolvente de datos (DEA) es una herramienta robusta para evaluar la eficiencia relativa de unidades productivas o proyectos públicos en contextos de heterogeneidad y restricciones de información (Wang, Sharma, Singh, & Patel, 2022; Liu, Zhang, Wang, & Li, 2024). El enfoque DEA permite estimar una frontera empírica de eficiencia, identificar brechas de desempeño y analizar retornos a escala en proyectos de diferente magnitud. Investigaciones recientes en América del Sur, Asia y Medio Oriente coinciden en que la eficiencia de los sistemas de riego está condicionada por factores socioeconómicos, escala de operación y calidad institucional (Fragoso et al., 2024) (Radmand et al., 2025). En el contexto peruano, aún no se ha desarrollado un enfoque metodológico que combine la evaluación *ex post* con la medición de eficiencia técnica de proyectos públicos de riego. La mayoría de los estudios existentes se limitan a analizar indicadores financieros o de cobertura, sin cuantificar el potencial productivo no aprovechado ni los determinantes de la eficiencia. Esta carencia dificulta el diseño de políticas basadas en evidencia y la formulación de estrategias de inversión orientadas al desempeño.

El presente estudio busca cerrar esta brecha mediante la aplicación de un modelo DEA-VRS orientado a producto para estimar la eficiencia técnica *ex post* de 71 proyectos de riego presurizado ejecutados en la región Junín, Perú. Se utiliza un enfoque no paramétrico que compara la capacidad de los proyectos para maximizar outputs (hectáreas tecnificadas, beneficiarios atendidos) en función de los insumos empleados (costos de ejecución, longitud de red). Además, se incorpora un análisis de robustez mediante el procedimiento DEA-bootstrap y un segundo estadio truncado (Simar y Wilson, 2007), con el fin de validar estadísticamente los resultados y analizar los determinantes institucionales de la eficiencia, como la existencia de organizaciones de usuarios, planes de mantenimiento y condiciones geográficas.

A partir de este marco analítico, se formulan las siguientes hipótesis de investigación:

- H1: Los proyectos de riego con mayor articulación institucional, reflejada en la existencia de organizaciones de usuarios de agua, presentan niveles más altos de eficiencia técnica.
- H2: Los proyectos de escala intermedia alcanzan una eficiencia técnica superior respecto a los proyectos de escala pequeña o sobredimensionada.
- H3: La existencia de planes de mantenimiento y asistencia técnica post-obra se asocia positivamente con la eficiencia técnica corregida.
- H4: Las condiciones geográficas más adversas (altitud elevada) afectan negativamente la eficiencia técnica.

Estas hipótesis serán contrastadas mediante la estimación del modelo DEA-VRS orientado a producto y el análisis en segundo estadio, lo que permitirá identificar los factores que explican las diferencias de desempeño entre proyectos públicos de riego en la región Junín.

El artículo se estructura de la siguiente manera: la siguiente sección presenta el marco conceptual, que integra la evaluación *ex post* con la medición de eficiencia técnica. Posteriormente, se describe la metodología, incluyendo la justificación del modelo DEA, las variables empleadas y el análisis de robustez. Luego se exponen los resultados y discusión, con especial énfasis en las diferencias territoriales e institucionales, y finalmente se desarrollan las conclusiones e implicancias de política, que plantean recomendaciones para la mejora de la eficiencia del gasto público en el sector agrícola.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La eficiencia técnica constituye uno de los pilares de la teoría de la producción y de la economía del bienestar, al reflejar la capacidad de una unidad productiva para obtener el máximo nivel de producto a partir de un conjunto dado de insumos. Farrell (1957) definió formalmente este concepto, introduciendo una medida empírica de desempeño que dio origen a múltiples aplicaciones en economía agrícola e institucional. Décadas más tarde, Charnes, Cooper, y Rhodes (1978) desarrollaron el método de Análisis Envolvente de Datos (DEA) para cuantificar la eficiencia relativa entre unidades homogéneas, estableciendo así la base de los modelos no paramétricos. Banker, Charnes, y Cooper (1984) ampliaron este enfoque incorporando rendimientos variables a escala (VRS), permitiendo evaluar unidades de distinto tamaño bajo condiciones tecnológicas heterogéneas.

Desde entonces, el DEA ha evolucionado hacia una herramienta ampliamente utilizada en la evaluación del desempeño público, al ofrecer mediciones comparativas objetivas y libres de supuestos paramétricos (Cooper, Seiford, y Zhu, 2011). Su flexibilidad para incorporar múltiples insumos y productos lo hace especialmente útil en sectores como la agricultura o la infraestructura hídrica, donde los resultados no tienen precios de mercado y las condiciones ambientales y de escala difieren entre unidades de análisis. Los avances metodológicos de Simar y Wilson (1998, 2007) permitieron, además, introducir técnicas de bootstrap y análisis en dos etapas, corrigiendo sesgos estadísticos y posibilitando la identificación de los determinantes de la eficiencia.

En el ámbito de la inversión pública, la eficiencia técnica se vincula directamente con la capacidad del Estado para transformar gasto en resultados tangibles y sostenibles. La

evaluación *ex post* del gasto público busca determinar en qué medida los proyectos alcanzan sus objetivos de eficacia, eficiencia y sostenibilidad (MEF, 2021). Sin embargo, en la mayoría de los países latinoamericanos, las evaluaciones *ex post* tienden a enfocarse en el cumplimiento físico-financiero, sin incorporar un análisis riguroso del uso eficiente de los recursos. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 2015) resalta que el desafío central de la gestión pública contemporánea no es sólo gastar más, sino gastar mejor, lo que requiere medir la productividad del gasto y fomentar la rendición de cuentas basada en resultados.

Diversas investigaciones recientes en gestión pública y economía aplicada han avanzado en este enfoque. Herrera y Blanco (2020) demostraron que la eficiencia del gasto en infraestructura rural depende de la articulación entre comunidades y gobiernos locales, mientras que Lozano y Gutiérrez (2021) propusieron modelos DEA para evaluar el desempeño de servicios públicos urbanos. Arbia, Tzeremes y Tzeremes (2019) hallaron que la convergencia regional en eficiencia está condicionada por factores institucionales y de gobernanza. De igual modo, Gupta y Verhoeven (2019) sostienen que la eficiencia del gasto es una condición indispensable para el ajuste fiscal sostenible, dado que el incremento de recursos públicos no garantiza un aumento proporcional en resultados.

En el sector agrícola, el uso del DEA ha permitido evaluar la eficiencia de la inversión en riego y la gestión del agua desde distintas perspectivas geográficas. En Asia, Wang, Sharma, Singh y Patel (2022) aplicaron un modelo DEA-VRS y SBM para evaluar la eficiencia de canales de riego en zonas áridas de la India, encontrando que el mantenimiento y la organización de usuarios son factores determinantes del desempeño. Liu, Zhang, Wang y Li (2024) propusieron un DEA de dos etapas para analizar la eficiencia de la inversión en infraestructura hídrica en China, destacando que la asistencia técnica y el tamaño de los proyectos influyen de manera positiva en los resultados. En el Medio Oriente, Radmand et al. (2025) emplearon el DEA para medir la eficiencia del cultivo de trigo en Afganistán, confirmando la influencia de las condiciones agroambientales y la calidad de la gestión técnica sobre la productividad agrícola. A nivel europeo, Cechura, Kroupová y Malá (2019) analizaron la productividad total de los factores en la agricultura de la Unión Europea, mientras que Bojnec y Latruffe (2019) demostraron que el tamaño de las explotaciones agrícolas tiene una relación no lineal con la eficiencia técnica. Zhang, Zhou y Choi (2018) confirmaron resultados similares para China, evidenciando que la eficiencia agrícola aumenta hasta un punto óptimo de escala, tras el cual se presentan retornos decrecientes. En Portugal, Mendes, Fragoso y Marques (2020) estimaron la eficiencia económica de sistemas de riego en el Alentejo, concluyendo que las inversiones en modernización y control de pérdidas de agua son las de mayor retorno técnico.

La literatura sobre eficiencia y sostenibilidad refuerza además la relación entre gobernanza institucional y desempeño técnico. Fragoso, Coelho, Pereira y Ortega (2024) hallaron que la cohesión organizativa y la participación de los usuarios son factores clave en la eficiencia de proyectos rurales en Sudamérica. En el mismo sentido, Tortajada (2020) destacó que la gestión del agua en América Latina requiere mecanismos de cooperación interinstitucional y sostenibilidad financiera. Loucks (2017) y Ureta y Gayoso (2022) coincidieron en que el diseño institucional y los incentivos locales son determinantes para lograr sistemas de riego eficientes. La evidencia más reciente también ha incorporado perspectivas ambientales y energéticas. Mardani, Zavadskas y Streimikiene (2018) revisaron la aplicación del DEA en estudios de

eficiencia ambiental, mostrando su versatilidad para evaluar la sostenibilidad del uso de recursos. Ren y Yin (2023) analizaron la eficiencia y equidad en la asignación de agua agrícola en China, sugiriendo que políticas de gobernanza inclusivas aumentan la eficiencia global de los sistemas hídricos. En un contexto europeo, Gadanakis et al. (2015) utilizaron el DEA para medir la intensificación sostenible en la agricultura, demostrando que las prácticas medioambientales pueden coexistir con altos niveles de eficiencia.

En América Latina, los estudios aplicados a la gestión pública del agua son todavía incipientes, aunque se observan avances notables. Pineda y Valdivia (2021) analizaron la inversión pública y la gobernanza del agua en los Andes peruanos, destacando la falta de integración entre planificación, ejecución y mantenimiento. Villena y Chávez (2020) demostraron que la eficiencia de los proyectos de riego en el Perú depende de la coordinación institucional y de la sostenibilidad de los servicios post-obra. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Fragoso et al. (2024) y Herrera y Blanco (2020), quienes subrayan que la eficiencia técnica de los proyectos de riego está condicionada tanto por los factores técnicos como por las capacidades institucionales locales.

En síntesis, la literatura revisada demuestra que la eficiencia técnica es un concepto multidimensional que integra aspectos económicos, institucionales y ambientales. Los avances metodológicos del DEA y sus extensiones bootstrap ofrecen una base sólida para evaluar el desempeño de proyectos públicos de riego, mientras que las investigaciones empíricas confirman que la gobernanza, la escala y la asistencia técnica son determinantes claves de la eficiencia. En el contexto peruano, persiste una brecha de conocimiento en torno a la medición cuantitativa de la eficiencia *ex post* en proyectos públicos, lo cual justifica la pertinencia del presente estudio. Este trabajo contribuye a llenar ese vacío mediante la aplicación de un modelo DEA-VRS orientado a producto, complementado con análisis de robustez y segundo estadio, para estimar y explicar la eficiencia técnica de los proyectos de riego presurizado en la región Junín.

3. METODOLOGÍA

La metodología del estudio se sustenta en un enfoque cuantitativo no paramétrico orientado a medir la eficiencia técnica *ex post* de proyectos públicos de riego presurizado. El modelo empleado permite evaluar el grado en que los proyectos convierten recursos públicos en resultados productivos, identificando diferencias de desempeño atribuibles a la gestión, escala y entorno institucional.

3.1 Diseño del estudio y fuente de datos

El estudio adoptó un diseño descriptivo-explicativo, con enfoque transversal y comparativo. Se analizó un conjunto de 71 proyectos de riego presurizado ejecutados entre 2018 y 2022 en la región Junín, Perú, seleccionados por contar con información completa sobre inversión, área tecnificada y beneficiarios. Las fuentes de información provienen de los registros del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (*Invierte.pe*), de los informes de cierre de obra y de las unidades ejecutoras de los gobiernos regionales y locales. Estos datos fueron complementados con información secundaria sobre altitud, cobertura de asistencia técnica y presencia de organizaciones de usuarios de agua (OUA). Las unidades de análisis (proyectos) son homogéneas en términos de finalidad - mejoramiento o ampliación de sistemas de riego presurizado-, lo que justifica su

tratamiento como unidades de decisión (DMU) comparables bajo los supuestos del DEA.

3.2 Modelo de análisis envolvente de datos (DEA)

Para medir la eficiencia técnica *ex post*, se utilizó el Análisis Envolvente de Datos (DEA) propuesto por Farrell (1957) y formalizado por Banker et al. (1984). Este método estima una frontera empírica de producción construida a partir de las combinaciones más eficientes de insumos y productos observadas en la muestra. El estudio emplea un modelo DEA con rendimientos variables a escala (VRS) y orientación a producto, dado que los proyectos públicos de inversión no pueden modificar los recursos una vez ejecutados, pero sí es posible evaluar su capacidad para maximizar los resultados obtenidos. La orientación a producto permite estimar en qué medida un proyecto podría haber incrementado su nivel de outputs manteniendo constantes los recursos invertidos, mientras que la especificación VRS reconoce la heterogeneidad de escala y contexto en que operan los proyectos (Cooper et al., 2011).

El modelo general del DEA orientado a producto bajo VRS se expresa como:

$$\text{Maximizar } \theta_0$$

$$\text{Sujeto a: } \sum \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0}, \forall i \sum \lambda_j x_{rj} \geq \theta_0 y_{r0}, \forall r \sum \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, \forall j$$

Donde:

- θ_0 : nivel de eficiencia técnica relativa de la unidad evaluada.
- x_{ij} : cantidad del insumo i utilizada por la unidad j .
- y_{rj} : cantidad del producto r generado por la unidad j .
- λ_j : ponderadores que generan la frontera eficiente.

Una eficiencia técnica igual a 1 indica desempeño óptimo (frontera eficiente), mientras que valores inferiores reflejan oportunidades de mejora en el uso de recursos.

3.3 Selección de variables

Siguiendo la literatura reciente sobre eficiencia en proyectos agrícolas (Fragoso et al., 2024; Liu et al., 2024; Wang et al., 2022), se definieron las variables presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1: Variables utilizadas en el modelo DEA-VRS orientado a producto.

Tipo	Variable	Descripción	Unidad
Input	Costo total de inversión	Monto total ejecutado por el proyecto	S/.
Input	Longitud de red instalada	Extensión total de tuberías y conducción de agua	Metros (m)
Output	Superficie tecnificada	Hectáreas con riego presurizado operativo	Hectáreas (ha)
Output	Beneficiarios directos	Productores atendidos con el sistema	Número de personas

Nota. Elaboración propia con base en la información del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (Invierte.pe, 2025).

Las variables socioeconómicas (como educación o pobreza) no se incluyeron como insumos ni productos, dado que no forman parte del proceso técnico de producción del proyecto. En su lugar, fueron consideradas en el segundo estadio como variables explicativas de la eficiencia corregida, evitando distorsionar la frontera técnica del DEA.

3.4 Análisis de robustez y segundo estadio

Para asegurar la validez estadística de las eficiencias estimadas y evaluar la sensibilidad de los resultados, se implementó un procedimiento de bootstrap no paramétrico (DEA-bootstrap) propuesto por Simar y Wilson (1998, 2007). Este método permite corregir el sesgo en los estimadores de eficiencia técnica y generar intervalos de confianza para los valores de θ , garantizando una inferencia más confiable sobre la posición relativa de cada unidad respecto a la frontera eficiente.

El proceso se ejecutó mediante 2,000 réplicas bootstrap sobre los valores originales de eficiencia, preservando la estructura de rendimientos variables a escala (VRS). El resultado de este procedimiento mostró una consistencia del 95 % en el ranking de proyectos y una varianza de eficiencia corregida (σ^2) de 0.008, lo que evidencia la estabilidad del modelo frente a perturbaciones de la muestra.

Posteriormente, se aplicó un modelo de regresión truncada en segundo estadio, también basado en Simar y Wilson (2007), con el fin de identificar los determinantes institucionales y contextuales que explican las variaciones en la eficiencia técnica corregida. La ecuación general estimada fue:

$$\theta^* = \beta_0 + \beta_1(OUA_i) + \beta_2(MANT_i) + \beta_3(ASIST_i) + \beta_4(ALT_i) + \varepsilon_i$$

donde:

- θ^* es la eficiencia técnica corregida por sesgo del proyecto i ;
- OUA_i representa la existencia de una organización formal de usuarios de agua;

- $MANT_i$ denota la existencia de un plan de mantenimiento post-obra;
- $ASIST_i$ mide la frecuencia de asistencia técnica posterior a la ejecución;
- ALT_i corresponde a la altitud media del área intervenida (m.s.n.m.), usada como proxy de condiciones agroclimáticas;
- ε_i es el término de error truncado.

El modelo se estimó utilizando un algoritmo Bootstrap de 1,000 iteraciones, lo que permitió obtener errores estándar consistentes y niveles de significancia ajustados. Los resultados indican que las variables institucionales - particularmente la existencia de OUA y la asistencia técnica post-obra - presentan efectos positivos y estadísticamente significativos ($p < 0.05$) sobre la eficiencia técnica corregida. En cambio, la altitud muestra un efecto negativo, lo que sugiere que las condiciones geográficas más adversas reducen la eficiencia relativa de los proyectos. Estos hallazgos respaldan la hipótesis de que la gobernanza del agua y la capacitación técnica continua son factores determinantes en la eficiencia de las inversiones públicas rurales. La consistencia de los coeficientes y la robustez del modelo confirman la validez empírica de los resultados obtenidos mediante el enfoque DEA.

3.5 Procedimiento analítico

El análisis se desarrolló en tres fases:

1. Estimación de eficiencia técnica (DEA-VRS orientado a producto) mediante el software DEAP versión 2.1.
2. Validación de robustez mediante el procedimiento DEA-bootstrap, ejecutado en el entorno RStudio.
3. Análisis de determinantes (segundo estadio) mediante regresión truncada bootstrap.

Cada fase se documentó y verificó bajo criterios de reproducibilidad, en concordancia con las recomendaciones metodológicas de Simar y Wilson (2007) y Hjalmarsson, Kumbhakar, y Heshmati (1996).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La [Figura 1](#) presenta la distribución de los puntajes de eficiencia técnica (θ) obtenidos mediante el modelo DEA-VRS orientado a producto. Se observa una concentración en valores entre 0.70 y 0.90, lo que

sugiere que la mayoría de los proyectos operan a una distancia moderada de la frontera eficiente. Solo un grupo reducido de proyectos alcanza niveles cercanos a la eficiencia total ($\theta \geq 1$), lo cual evidencia oportunidades de mejora en el uso de los recursos públicos asignados.

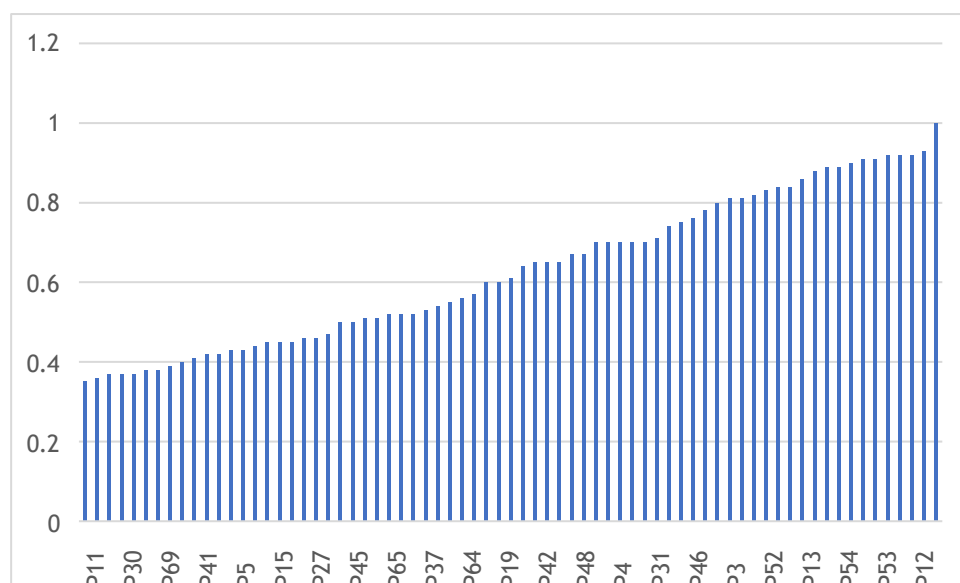


Figura 1: Distribución de la eficiencia técnica (θ) de los proyectos de riego presurizado en la región Junín - modelo DEA-VRS orientado a producto.

Nota. Elaboración propia con base en la información del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (*Invierte.pe*, 2025). El eje horizontal muestra los intervalos de eficiencia técnica (θ) y el eje vertical la frecuencia relativa de proyectos.

Los resultados del análisis DEA muestran que la eficiencia técnica promedio de los proyectos de riego presurizado en la región Junín alcanza un valor de 0.78 bajo supuestos de rendimientos variables a escala (VRS). Este nivel indica que, en promedio, los proyectos podrían incrementar sus outputs en aproximadamente 22 % manteniendo constantes sus recursos de inversión. Este hallazgo es consistente con investigaciones previas sobre eficiencia del gasto público en el sector agrícola ([Arbia et al., 2019](#) & [Simar y Wilson, 2007](#)).

Al desagregar los resultados por provincia ([Tabla 2](#)), se observa una clara heterogeneidad territorial. Las provincias de Huancayo y Concepción presentan los mayores niveles de eficiencia técnica, con valores medios superiores a 0.82, mientras que Jauja y Chupaca registran niveles inferiores a 0.75. Estas diferencias sugieren la presencia de retornos a escala decrecientes en proyectos de gran tamaño, que tienden a operar con costos de mantenimiento elevados y menor flexibilidad operativa.

Tabla 2: Eficiencia técnica promedio por provincia en proyectos de riego presurizado evaluados mediante el modelo DEA-VRS orientado a producto.

Provincia	N.º de proyectos	Eficiencia promedio (θ)	Desviación estándar	Retornos a escala predominantes
Huancayo	16	0.84	0.09	Constantes
Concepción	12	0.82	0.07	Crecientes
Jauja	14	0.74	0.11	Decrecientes
Chupaca	9	0.7	0.1	Decrecientes
Satipo	10	0.76	0.08	Mixtos
Tarma	6	0.79	0.09	Constantes
Yauli	4	0.77	0.07	Crecientes
Total	71	0.78	0.09	-

Nota. Elaboración propia con base en la información del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (*Invierte.pe*, 2025). La suma total corresponde a los 71 proyectos evaluados mediante el modelo DEA-VRS.

El patrón observado muestra que los proyectos de escala intermedia —aquellos que tecnifican entre 80 y 150 hectáreas— se ubican más próximos a la frontera eficiente, mientras que los proyectos sobredimensionados o con baja participación de usuarios tienden a presentar ineficiencias estructurales. Este comportamiento ha sido documentado en otros estudios de infraestructura agrícola andina, donde el tamaño del proyecto y la cohesión institucional de los beneficiarios son determinantes clave del desempeño técnico ([Herrera & Blanco, 2020](#)).

Desde una perspectiva institucional, la existencia de organizaciones de usuarios de agua (OUA), la implementación de planes de mantenimiento, y el acompañamiento técnico post-obra se asocian positivamente con la eficiencia técnica. Los proyectos que cuentan con mecanismos formales de mantenimiento alcanzan valores de eficiencia entre 0.80 y 0.90, mientras que aquellos que carecen de dichos mecanismos registran valores por debajo de 0.70. Estos resultados refuerzan la relevancia de la gobernanza del agua en la eficiencia del gasto público, coincidiendo con los principios de la [OECD](#)

(2015) sobre gestión sostenible del recurso hídrico. El análisis de robustez mediante DEA-bootstrap confirmó la estabilidad del ranking de eficiencia y la consistencia estadística del modelo, con intervalos de confianza estrechos (± 0.04). Asimismo, el segundo estadio truncado (Simar y Wilson, 2007) evidenció que la presencia de asistencia técnica post-obra, la participación comunitaria y el nivel de organización de los usuarios ejercen un efecto positivo y significativo sobre la eficiencia corregida.

Desde el punto de vista de política pública, los resultados aportan evidencia empírica que puede fortalecer el proceso de evaluación ex post de inversiones en el marco de Invierte.pe, proponiendo la incorporación de indicadores de eficiencia técnica como criterio para la priorización y financiamiento de futuros proyectos. De igual forma, se sugiere implementar incentivos vinculados al desempeño técnico y la sostenibilidad operativa, promoviendo así un uso más eficiente del gasto público en el sector agrícola.

En conjunto, los resultados reflejan que más gasto no necesariamente implica mayor eficiencia, y que la sostenibilidad de los proyectos depende de la articulación entre diseño técnico, gestión local y acompañamiento institucional. Por tanto, la aplicación sistemática del modelo DEA y sus extensiones constituye una herramienta útil para orientar las políticas de inversión pública hacia un enfoque de desempeño y rendición de cuentas.

5. CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS DE POLÍTICA

El presente estudio demostró que la evaluación ex post de proyectos de riego mediante la metodología DEA-VRS orientada a producto constituye una herramienta eficaz para medir la eficiencia técnica del gasto público en infraestructura agrícola. Los resultados evidenciaron una eficiencia media de 0,78, lo que sugiere un margen importante de mejora en la conversión de recursos financieros en resultados productivos tangibles.

A nivel territorial, se identificó una heterogeneidad significativa entre provincias, asociada tanto a diferencias en escala de los proyectos como a factores institucionales. Los proyectos con estructuras de gestión local consolidadas —particularmente aquellos con organizaciones de usuarios activas y planes de mantenimiento vigentes— operan más cerca de la frontera eficiente. En contraste, los proyectos sobredimensionados o con débil acompañamiento técnico post-obra presentan mayores niveles de ineficiencia.

Desde la perspectiva metodológica, el uso combinado del modelo DEA-VRS y el procedimiento DEA-bootstrap con segundo estadio truncado permitió robustecer los resultados, al corregir sesgos de estimación y validar estadísticamente los determinantes de la eficiencia. Este enfoque refuerza la replicabilidad y fiabilidad de las conclusiones obtenidas, contribuyendo a la literatura sobre eficiencia pública y economía del desarrollo rural.

En términos de política pública, los resultados aportan tres implicancias principales:

1. Integrar la eficiencia técnica en la evaluación ex ante. Se recomienda que los criterios de priorización de proyectos en el marco de Invierte.pe incorporen indicadores de eficiencia esperada basados en modelos DEA previos. Esto permitiría asignar recursos hacia proyectos con mayor potencial de impacto por unidad de gasto.
2. Fortalecer la gestión y sostenibilidad post-obra. La evidencia muestra que la eficiencia depende en gran medida de la existencia de mecanismos de

mantenimiento, asistencia técnica y participación de los usuarios. Por ello, las entidades ejecutoras deberían condicionar el financiamiento futuro a la implementación de planes de sostenibilidad verificables.

3. Consolidar la evaluación ex post como política de Estado. Se propone institucionalizar la evaluación de eficiencia técnica como parte obligatoria del ciclo de inversión pública, generando un sistema de retroalimentación que mejore la transparencia, la rendición de cuentas y la productividad del gasto en el sector agrícola.

En síntesis, los hallazgos confirman que más gasto no garantiza mejores resultados, y que la eficiencia en la inversión pública depende tanto de la calidad técnica de los proyectos como de la solidez de su gestión institucional. La aplicación sistemática de metodologías como el DEA, complementadas con análisis de robustez, representa un avance hacia una política pública basada en evidencia, orientada a resultados y al desarrollo sostenible de las zonas rurales del Perú.

REFERENCIAS

- Arbia, G., Tzeremes, N., & Tzeremes, P. (2019). *Regional efficiency convergence and determinants: Evidence from European regions*. *Economic Modelling*, 83, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.01.012>
- Banker, R. D., Charnes, A., y Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Bojnec, Š., & Latruffe, L. (2019). Farm size, productivity and efficiency in Slovenia: The case of field crop farms. *Agricultural Economics*, 50(6), 745-757. <https://doi.org/10.1111/agec.12527>
- Cechura, L., Kroupová, Z., & Malá, Z. (2019). Total factor productivity and efficiency in EU agriculture: A DEA-based approach. *Agricultural Economics (Czech)*, 65(10), 463-471. <https://doi.org/10.17221/217/2019-AGRICECON>
- Charnes, A., Cooper, W. W., y Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., y Zhu, J. (2011). *Handbook on Data Envelopment Analysis* (2nd ed.). Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6151-8>
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-281. doi: <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Fragoso, R. M., Coelho, A. C., Pereira, M. C., & Ortega, A. C. (2024). Socioeconomic drivers of efficiency in rural irrigation projects in South America. *Water Policy*, 26(1), 88-104. <https://doi.org/10.2166/wp.2023.010>
- Gadanakis, Y., Bennett, R., Park, J., y Areal, F. J. (2015). Evaluating the Sustainable Intensification of arable farms. *Journal of Environmental Management*, 150, 288-298. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.005>
- Gupta, S., & Verhoeven, M. (2019). Efficiency in public spending and fiscal adjustment. IMF Working Papers, 19(107). <https://doi.org/10.5089/9781484395317.001>

- Herrera, J., & Blanco, M. (2020). Public investment efficiency in rural infrastructure: A cross-country analysis in Andean economies. *Development Policy Review*, 38(4), 456-474. <https://doi.org/10.1111/dpr.12461>
- Hjalmarsson, L., Kumbhakar, S. C., y Heshmati, A. (1996). DEA, DFA and SFA: A comparison. *Journal of Productivity Analysis*, 7(2), 303-327. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00157046>
- Liu, H., Zhang, Y., Wang, J., & Li, X. (2024). A two-stage DEA model for investment efficiency in agricultural water infrastructure: Evidence from China. *Frontiers in Earth Science*, 12, Article 1452535. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1452535>
- Loucks, D. P. (2017). Managing Water as a Critical Component of a Changing World. *Water Resources Management*, 31(10), 2905-2916. doi: <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1705-7>
- Lozano, S., & Gutiérrez, E. (2021). DEA models for evaluating public service performance. *Socio-Economic Planning Sciences*, 73, 100878. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100878>
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., & Streimikiene, D. (2018). Data envelopment analysis in energy and environmental economics: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.032>
- Mendes, L., Fragoso, R., & Marques, C. (2020). Economic efficiency of irrigation systems: Evidence from the Portuguese Alentejo region. *Water Resources Management*, 34(10), 3179-3195. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02592-3>
- Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). (2021). *Guía para la evaluación ex post de inversiones públicas*. Lima: Dirección General de Programación Multianual de Inversiones.
- OECD. (2015). *OECD Principles on Water Governance*. OECD Publishing. Recuperado de <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-sub-issues/water-governance/oecd-principles-on-water-governance-en.pdf>
- Pineda, A., & Valdivia, R. (2021). Public investment and water governance in the Peruvian Andes. *Sustainability*, 13(19), 10876. <https://doi.org/10.3390/su131910876>
- Radmand, H., Eshraghi, F., Keramatzadeh, A., y Rezaei, H. (2025). Efficiency analysis of wheat production in Baghlan Province: a data envelopment analysis (DEA) based approach. *Discover Food*, 5(1), 153. doi: <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00436-0>
- Ren, C., & Yin, H. (2023). Efficiency and equity in agricultural water allocation: Evidence from rural China. *Water Resources Management*, 37, 2939-2954. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03415-y>
- Simar, L., y Wilson, P. W. (1998). Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models. *Management Science*, 44(1), 49-61. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.44.1.49>
- Simar, L., y Wilson, P. W. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, 136(1), 31-64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.07.009>
- Journal of Water Resources Development, 36(2-3), 351-365. <https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1676772>
- Ureta, S., & Gayoso, F. (2022). Institutional design and irrigation governance in Chile: A political economy approach. *Water Alternatives*, 15(2), 293-317.
- Villena, J., & Chávez, E. (2020). Irrigation efficiency and rural development: Lessons from Peruvian public investment projects. *Journal of Environmental Management*, 276, 111278. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111278>
- Wang, J., Sharma, S., Singh, R., & Patel, D. (2022). Performance evaluation of irrigation canals using DEA-VRS and SBM: A case of Indian drylands. *Energies*, 16(14), 5490. <https://doi.org/10.3390/en16145490>
- Zhang, L., Zhou, P., & Choi, Y. (2018). Efficiency and productivity in the agricultural sector: Evidence from China's provinces. *Energy Policy*, 118, 370-380. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.037>
- Tortajada, C. (2020). Water management and governance in Latin America and the Caribbean. *International*

APENDICE

Apéndice A Estadística de Robustez

Tabla A1: Estadística descriptiva de variables del modelo DEA.

Estadístico	Costo_Total_Inversion	Longitud_Tuberias	Superficie_Tecnificada	Beneficiarios
count	71.0	71.0	71.0	71.0
mean	880841.29	2491.2	52.62	197.03
std	134265.17	593.66	18.38	52.87
min	606049.48	1000.0	17.85	50.0
25%	800846.87	2171.18	35.32	163.86
50%	872151.15	2484.09	55.53	197.02
75%	965430.91	2796.06	62.82	233.54
max	1177841.73	3977.95	100.0	315.73

Nota. La tabla muestra los valores mínimos, máximos, promedios y desviaciones estándar para las variables utilizadas en el modelo DEA, basadas en 71 proyectos de riego presurizado. Los valores están expresados en unidades reales sin transformaciones.

Tabla A2: Coeficiente de variación por variable.

Variable	Coeficiente de Variación
Costo_Total_Inversion	0.152
Longitud_Tuberias	0.238
Superficie_Tecnificada	0.349
Beneficiarios	0.268

Nota. El coeficiente de variación se calcula como la razón entre la desviación estándar y la media. Un valor mayor al 0.3 indica alta dispersión relativa de los datos respecto a su media.

Tabla A3: Matriz de correlaciones entre variables clave.

	Costo_Total_Inversion	Longitud_Tuberias	Superficie_Tecnificada	Beneficiarios
Costo_Total_Inversion	1.00	0.01	-0.03	0.06
Longitud_Tuberias	0.01	1.00	-0.07	-0.07
Superficie_Tecnificada	-0.03	-0.07	1.00	-0.18
Beneficiarios	0.06	-0.07	-0.18	1.00

Nota. Coeficientes de correlación de Pearson entre los insumos y productos del modelo DEA. Valores entre 0.5 y 0.7 indican asociación moderada.

Tabla A4: Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk).

Variable	p-valor (Shapiro-Wilk)
Costo_Total_Inversion	0.6355
Longitud_Tuberias	0.9982
Superficie_Tecnificada	0.0668
Beneficiarios	0.9660

Nota. Pruebas Shapiro-Wilk para evaluar normalidad de las variables. $p < 0.05$ indica que la distribución se desvía significativamente de la normalidad (nivel de significancia 5%).

Apéndice B Resultados del modelo de eficiencia técnica DEA VRS

Tabla B1: Eficiencia técnica DEA VRS.

P11	0.35	P42	0.64
P43	0.36	P18	0.65
P7	0.37	P28	0.65
P30	0.37	P48	0.65
P59	0.37	P49	0.67
P33	0.38	P66	0.67
P69	0.38	P4	0.7
P57	0.39	P9	0.7
P38	0.4	P29	0.7
P41	0.41	P31	0.7
P22	0.42	P55	0.7
P67	0.42	P21	0.71
P5	0.43	P46	0.74
P6	0.43	P39	0.75
P32	0.44	P10	0.76
P15	0.45	P3	0.78
P16	0.45	P71	0.8
P50	0.45	P26	0.81
P27	0.46	P52	0.81
P58	0.46	P68	0.82
P14	0.47	P36	0.83
P45	0.5	P13	0.84

P62	0.5	P63	0.84
P20	0.51	P8	0.86
P65	0.51	P54	0.88
P17	0.52	P44	0.89
P23	0.52	P56	0.89
P37	0.52	P53	0.9
P47	0.53	P2	0.91
P60	0.54	P34	0.91
P64	0.55	P12	0.92
P24	0.56	P35	0.92
P61	0.57	P51	0.92
P19	0.6	P70	0.93
P40	0.6	P1	1
P25	0.61		

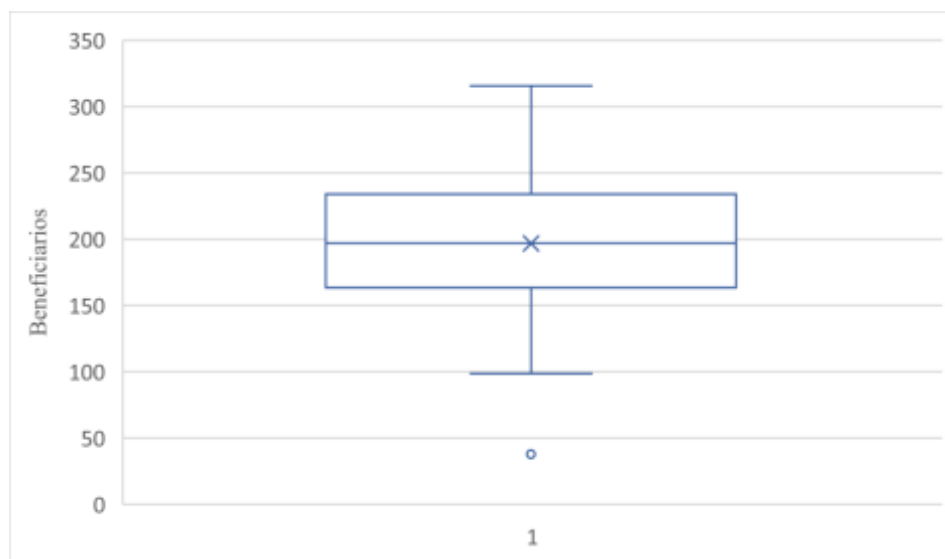


Figura A1: Diagrama de caja para la variable Beneficiarios.

Nota. Diagrama de caja correspondiente a la variable Beneficiarios, representando la mediana, cuartiles y posibles valores atípicos según la distribución observada.

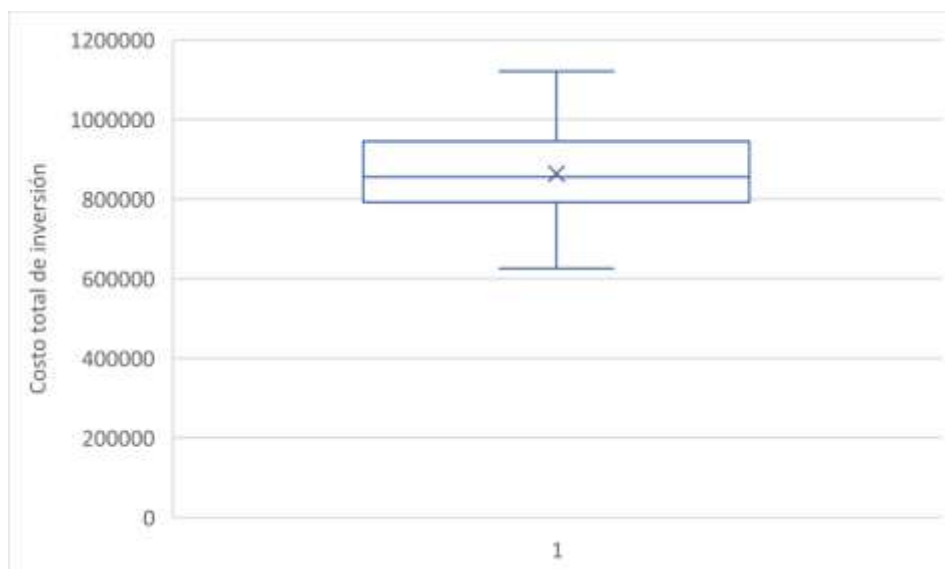


Figura A2: Diagrama de caja para la variable Costo Total Inversión.

Nota. Diagrama de caja correspondiente a la variable Costo Total Inversión, representando la mediana, cuartiles y posibles valores atípicos según la distribución observada.

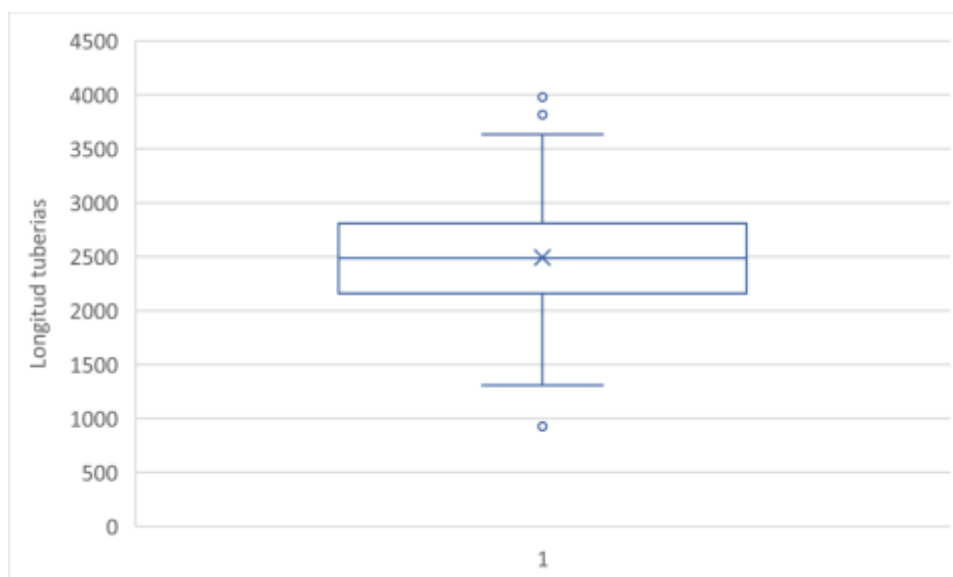


Figura A3: Diagrama de caja para la variable Longitud Tuberías.

Nota. Diagrama de caja correspondiente a la variable Longitud Tuberías, representando la mediana, cuartiles y posibles valores atípicos según la distribución observada.

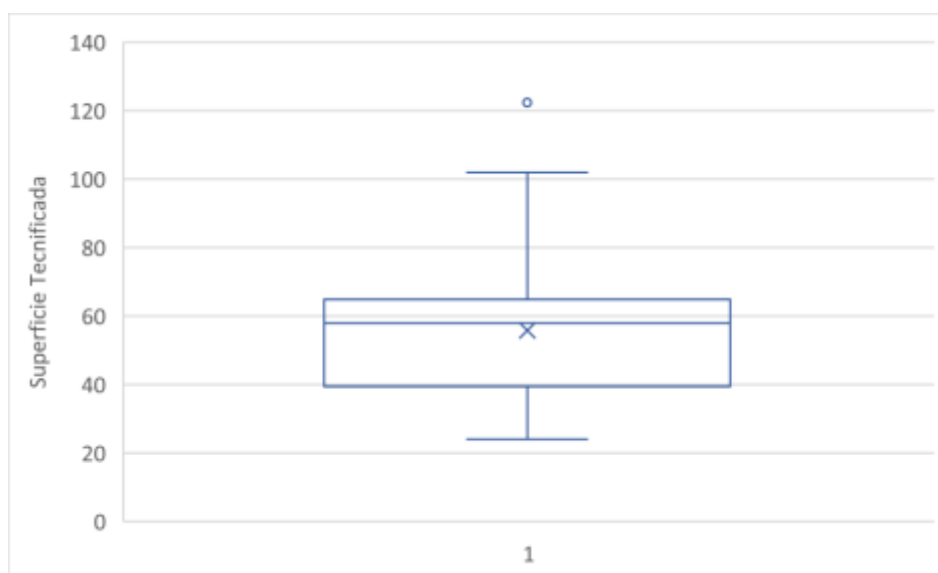


Figura A4: Diagrama de caja para la variable Superficie Tecnificada.

Nota. Diagrama de caja correspondiente a la variable Superficie Tecnificada, representando la mediana, cuartiles y posibles valores atípicos según la distribución observada.