PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Escuela de Posgrado

Análisis de eficiencia de Empresas de Servicios Públicos de Agua Potable y Saneamiento en Perú: una aproximación DEA en dos etapas

Tesis para obtener el grado académico de Maestra en Economía que presenta:

Yessi Patricia Conislla Arteaga

Asesor:

Max Arturo Carbajal Navarro

Lima, 2025

Informe de Similitud

Yo, Max Arturo Carbajal Navarro, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada(o) Análisis de eficiencia de Empresa de Servicios Públicos de Agua Potable y Saneamiento en Perú: una aproximación DEA en dos etapas, de la autora Yessi Patricia Conislla Arteaga, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 14%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 14/11/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de investigación, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 19 de Noviembre de 2025.

Apellidos y nombres del asesor: Carbajal Navarro Max Arturo	
DNI: 42123235	Firma
ORCID: 0000-0002-4800-4903	

Dedicatoria

A mi familia, por su apoyo incondicional y ser mi fuente de inspiración.

Agradecimiento

A mi asesor, Max Carbajal Navarro, por su tiempo y su valiosa orientación técnica, clave para el diseño metodológico y el desarrollo de este trabajo.

Análisis de eficiencia de Empresas de Servicios Públicos de Agua Potable y Saneamiento en Perú: una aproximación DEA en dos etapas

Resumen

El Perú ha avanzado significativamente en la cobertura de agua potable y saneamiento, alcanzando 90.7 % y 78.4 % respectivamente en 2023 (INEI, s.f.). No obstante, las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) enfrentan retos críticos en la calidad, continuidad y sostenibilidad del servicio. En este contexto la mejora de eficiencia resulta necesario para superar dichos problemas; sin embargo, estas limitaciones podrían estar condicionadas por factores externos vinculadas al entorno geográfico, institucional y regulatorio en el que operan. Este estudio determina el impacto de dichas variables ambientales y regulatorias sobre la eficiencia técnica de 47 EPS durante el periodo 2015-2023.

Metodológicamente, el estudio aplico el enfoque DEA en dos etapas. En la primera etapa, se estimaron los puntajes de eficiencia técnica mediante el método Data Envelopment Analysis (DEA) orientado a insumos. En la segunda, se modelaron los determinantes de la eficiencia utilizando regresiones Tobit y Simar & Wilson (2007). Para ello, se construyeron dos modelos diferenciados: el primero incorporó variables ambientales que caracterizan el contexto operativo de las EPS (macrorregión, tamaño, número de localidades, micromedición y densidad de conexiones); mientras que, el segundo modelo incluyó variables regulatorias diseñadas para el estudio (tiempo con regulación de tarifas, número de fiscalizaciones, tiempo en Régimen de Apoyo

Transitorio (RAT) y duración de transiciones tarifarias). La robustez de los resultados se verificó mediante la comparación de estimaciones obtenidas con ambos métodos.

Los resultados confirman que las variables ambientales y regulatorias inciden sobre la eficiencia de las EPS. Geográficamente, las EPS ubicadas en la macrorregión Oriente presentan una eficiencia significativamente menor en comparación con las de la macrorregión Centro, mientras que las de la macrorregión Sur exhiben una mayor eficiencia. Según escala de operación, las EPS medianas resultan menos eficientes que las grandes, y la densidad de conexiones se asocia positivamente con la eficiencia. En el entorno regulatorio, se confirma el efecto favorable del tiempo bajo regulación tarifaria, en contraste con el impacto negativo del tiempo en el RAT, las transiciones tarifarias prolongadas y el número de fiscalizaciones.

En conclusión, el estudio evidencia la utilidad de metodologías como DEA con regresiones de Tobit y Simar & Wilson (2007) para el análisis de eficiencia en servicios de agua potable y saneamiento. Los resultados ofrecen un referente metodológico y empírico para futuras investigaciones y para el diseño de políticas públicas en el sector.

Palabras clave: Regulación de Servicios de Agua Potable y Saneamiento, Eficiencia técnica, Análisis Envolvente de Datos (DEA), Regresión Tobit, Doble bootstrap de Simar y Wilson (2007).

Abstract

Peru has made notable progress in expanding access to potable water and sanitation, reaching coverage rates of 90.7% and 78.4%, respectively, in 2023 (INEI, n.d.). Despite these advances, Water and Sanitation Service Providers (EPS) continue to face critical challenges in service quality, continuity, and sustainability. Improving operational efficiency is essential to address these challenges. However, performance may be conditioned by external factors related to geographic, institutional, and regulatory environments. This study analyzes the impact of environmental and regulatory variables on the technical efficiency of 47 EPS between 2015 and 2023.

A two-stage Data Envelopment Analysis (DEA) approach was applied. First, input-oriented DEA was used to estimate technical efficiency scores. Second, Tobit and Simar & Wilson (2007) regressions were employed to identify key determinants. Two models were developed: one incorporating environmental variables (macro-region, utility size, number of localities served, micrometering, and connection density), and another including regulatory variables (duration under tariff regulation, number of supervisory reviews, time under the Transitional Support Regime (RAT), and length of tariff transitions). Robustness was tested by comparing results across both methods.

Findings confirm that environmental and regulatory factors significantly affect EPS efficiency. Providers in the Eastern macro-region show lower efficiency than those in the

Central region, while those in the South perform better. Medium-sized EPS are less efficient than large ones, and higher connection density correlates positively with efficiency. Regulatory factors such as prolonged tariff transitions, time under RAT, and frequent inspections negatively affect performance, whereas sustained tariff regulation has a positive effect.

This study demonstrates the value of combining DEA with Tobit and Simar & Wilson (2007) regressions to evaluate efficiency in water and sanitation services. The results offer a methodological and empirical foundation for future research and policy design in the sector.

Keywords: Drinking Water and Sanitation Services Regulation, Technical Efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA), Tobit Regression, Simar & Wilson (2007) Double Bootstrap.

Índice

Resumen v
Abstract vii
Índice ix
Lista de Tablas xi
Lista de figuras xii
1. Introducción 1
1.1 Planteamiento del Problema 1
1.2 Objetivos de la investigación 4
1.3 Objetivos específicos 4
1.4 Hipótesis del estudio 5
1.5 Hechos estilizados 5
2. Marco Teórico 11
2.1 Modelo Tobit en la segunda etapa del DEA 14
2.1.1 Críticas metodológicas y limitaciones 16
2.1.2 Interpretación de los Resultados y la Necesidad de los Efectos Marginales 17
2.2 Enfoque de Doble Bootstrap (Simar y Wilson, 2007) 17
2.2.1 Algoritmo metodológico 17
2.2.2 Supuestos 20
3. Revisión de la literatura empírica 22
3.1 DEA aplicado en el sector agua potable y saneamiento 22
3.2 Revisión de la literatura: Estudios de eficiencia en el Perú 26
4. Metodología 30
4.1 Periodo y Base de Datos 30
4.2 Modelo DEA en la Primera etapa 30
4.2.1 Selección de las variables 31
4.2.2 Análisis exploratorio de las variables 32
4.3 Segunda etapa: Regresiones Tobit y Simar & Wilson (2007) 37
4.3.1 Modelo 1: Influencia de variables ambientales sobre la Eficiencia Técnica 37
4.3.2 Modelo 2: Influencia de variables regulatorias sobre la Eficiencia Técnica 41
5. Resultados y análisis de información 45
5.1 Primera Etapa: Resultados del modelo DEA 45
5.2 DEA segunda etapa: Resultados Modelo 1 - Variables ambientales 49

5.2.1 Modelo 1: Resultados mediante regresión Tobit 49
5.2.2 Modelo 1: Resultados mediante regresión Simar & Wilson (2007) 54
5.2.3 Modelo 1: Comparación de resultados Tobit versus Simar & Wilson (2007) 56
5.3 DEA segunda etapa: Resultados Modelo 2 - variables regulatorias 57
5.3.1 Modelo 2: Resultados mediante regresión Tobit 57
5.3.2 Modelo 2: Resultados mediante regresión Simar & Wilson (2007) 60
5.3.3 Modelo 2: Comparación de resultados Tobit versus Simar-Wilson (2007) 63
6. Conclusiones 65
7. Recomendaciones 68
8. Referencias Bibliográficas 69
Anexo 1. EPS con plantas de tratamiento de aguas residuales 73
Anexo 2. Variables del modelo DEA (primera etapa) 74
Anexo 3. Variables ambientales y regulatorias 75
Anexo 4. EPS según región y macrorregión 76
Anexo 5. Top eficiencia máxima y mínima (2015–2023) 77
Anexo 6. Modelo1: Tobit a través del Análisis de Residuales 83
Anexo 7. Modelo 2: Tobit a través del Análisis de Residuales 84

Lista de Tablas

Tabla 1. *Comparación regional en el desempeño ODS 6: agua y saneamiento* 1
Tabla 2. *50 EPS según número de conexiones de agua potable* 6
Tabla 3. *EPS según tipo de propiedad* 7
Tabla 4. *Axiomas del conjunto de producción en DEA BCC* 13
Tabla 5. *Resumen de evolución metodológica del análisis DEA* 14
Tabla 6. *Revisión de la literatura* 24
Tabla 7. *Estudios sobre eficiencia de EPS en el Perú* 27
Tabla 8. *Variables del Modelo DEA* 31
Tabla 9. *Estadísticos de variables del modelo DEA (2015-2023), 47 EPS* 32
Tabla 10. *Matriz de correlación* 35
Tabla 11. *Variables ambientales* 38
Tabla 12. *EPS según macrorregión* 39
Tabla 13. *Factor de Inflación de la Varianza (VIF) – Modelo 1* 40
Tabla 14. *Variables regulatorias candidatas del Modelo 2* 42
Tabla 15. *Factor de Inflación de la Varianza (VIF) - Modelo 2* 43
Tabla 16. *Factor de Inflación de la Varianza (VIF) - Modelo 2* 44
Tabla 17. *Estadísticos descriptivos de la eficiencia técnica (te_vrs)* 45
Tabla 18. *EPS más frecuentes en Top 5 (2015–2023)* 49
Tabla 19. *EPS con mayor recurrencia en categoría "Baja" (2015–2023)* 49
Tabla 20. *Estimación Modelo 1, mediante TOBIT* 50
Tabla 21. *Efectos marginales (modelo 1)* 52
Tabla 22. *Estimación Modelo 1, mediante SIMAR-WILSON* 54
Tabla 23. *Modelo 1: comparación de efectos Tobit versus Simar & Wilson (2007)* 56
Tabla 24. *Estimación Modelo 2, mediante Tobit* 58
Tabla 25. *Efectos marginales (modelo 2)* 59
Tabla 26. *Estimación Modelo 2, mediante SIMAR-WILSON* 61
Tabla 27. *Modelo 2: comparación de efectos Tobit versus Simar & Wilson (2007)* 63

Lista de figuras

Figura 1. *Cobertura servicios de agua potable (%), periodo 2020-2023* 8
Figura 2. *Cobertura servicios de saneamiento (%) periodo 2020-2023* 9
Figura 3. *Costos totales de operación, año 2023* 10
Figura 4. *Isoquanta eficiente (SS´) y firmas fuera de la frontera eficiente* 11
Figura 5. *Matriz de dispersión entre variables input y outputs* 33
Figura 6. *Histograma de eficiencia, panel 2015-2023* 46
Figura 7. *Histograma de eficiencia promedio anual* 46
Figura 8. *Eficiencia técnica VRS por año y tamaño de EPS* 48

1. Introducción

1.1 Planteamiento del Problema

Según el Informe de Desarrollo Sostenible 2024 (Sachs et al., 2024), el Perú muestra avances en la población que utiliza servicios básicos de agua potable (94.8% de la población). Sin embargo, enfrenta retos significativos en otros indicadores clave del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6) - Agua limpia y Saneamiento: solo el 78.5% de la población utiliza servicios básicos de saneamiento (2022) y, como se observa en la Tabla 1, esta cobertura se sitúa dentro del grupo de países de la región con menor desempeño, ubicándose por debajo de los niveles alcanzados por Ecuador (92.3%), Colombia (94.7%), Brasil (90.9%) y Chile (100%). Asimismo, en el tratamiento de aguas residuales, si bien el Perú (67.0%) supera a varios países de la región, su nivel aún dista considerablemente del logrado por Chile (100%). Esta posición relativa revela deficiencias en la provisión efectiva de estos servicios básicos.

Tabla 1.
Comparación regional en el desempeño ODS 6: agua y saneamiento

Indicador	Perú	Bolivia	Ecuador	Colombia	Chile	Brasil
Población que utiliza servicios básicos de agua potable (%)*	94.8	94.1	95.7	97.5	100.0	99.6
Población que utiliza servicios básicos de saneamiento (%)*	78.5	68.6	92.3	94.7	100.0	90.9
Aguas residuales tratadas (%)	67.0	14.0	29.8	20.2	100.0	52.0

Nota. Los indicadores de utilización de servicios básicos (*) corresponden al 2022. Los datos de aguas residuales tratadas provienen de distintos años: Perú (2021), Bolivia (2015), Ecuador (2020), Colombia (2021), Chile (2021), Brasil (2019).
Fuente: Adaptado de Sachs et al. (2024).

La posición desfavorable del Perú en el contexto regional sugiere la existencia de deficiencias estructurales en la prestación de los servicios agua potable y saneamiento. Según cifras el INEI (s.f.) en el ámbito urbano entre los años 2013

a 2023, se registraron avances en la cobertura promedio a nivel nacional del acceso a agua potable (mediante red pública) pasó de 86.1% a 90.7%, y el servicio de saneamiento aumentó de 64% a 78.4%. Sin embargo, pese a estos progresos en cobertura, las Empresa Prestadoras que administran dichos servicios en el ámbito urbano enfrentan diversos problemas que limitan su capacidad para alcanzar una cobertura universal y garantizar la calidad del servicio, entre ellos:

1) **Deficiencias en la infraestructura**: Baja capacidad de inversión para la renovación, mantenimiento y ampliación de redes y sistemas operativos.
2) **Capacidad limitada de tratamiento de aguas residuales**: Solo 58.8**%** de las aguas residuales urbanas son tratadas, lo que implica que más del 40% se vierten sin procesamiento, contaminando ríos y costas (INEI, s.f.).
3) **Altas pérdidas operativas de agua no facturada:** en promedio 37.3% de agua no facturada (Sunass, 2024), debido a deficiencias operativas (redes de agua, infraestructura) como a problemas comerciales relacionadas con la medición del consumo.

En este contexto, las 50 EPS, que operan como monopolios naturales en sus respectivas jurisdicciones, enfrentan un desafío doble: maximizar la cobertura y calidad del servicio mientras reducen pérdidas operativas. Cabe destacar que las EPS no son homogéneas; una de sus principales características es la diferencia en el tamaño de mercado, reflejada en el número de conexiones y localidades administradas.

Ahora bien, aunque las EPS difieren en tamaño —medido por el número de conexiones—, esta variable no explica por sí sola su desempeño. Según Sunass (2023), Sedapal S.A., la EPS más grande del país, registra un porcentaje de agua

no facturada (ANF) de 32,32 %; en cambio, UE Agua Tumbes, también de escala grande (aunque menor), presenta un nivel crítico de 66,65 %. Asimismo, entre las EPS de menor escala (menos de 15 mil conexiones) se observan fuertes contrastes: Aguas del Altiplano S.R.L. muestra un ANF bajo de 12,24 %, pero a su vez presenta un nivel de micromedición de solo 38 % y no realiza tratamiento de aguas residuales. Estas disparidades evidencian que la heterogeneidad en el desempeño es una característica estructural del sector, que trasciende la escala operativa.

Frente a este contexto, la pregunta de investigación es ¿Cómo inciden los factores externos a la EPS, considerados como variables ambientales (región, tamaño, número de localidades, micromedición y densidad) y del contexto regulatorio en la eficiencia técnica de las EPS?

Para abordar esta pregunta, se siguió un análisis DEA en dos etapas, utilizando tanto regresiones Tobit como el procedimiento de doble bootstrap propuesto por Simar & Wilson (2007). Si bien estudios previos en el caso peruano han aplicado metodologías convencionales como DEA-Tobit para analizar la eficiencia, ninguno ha implementado el enfoque de Simar y Wilson (2007), diseñado para corregir el sesgo derivado de la dependencia de los *scores* DEA, tampoco han incorporado variables ambientales y regulatorias en el modelo. El periodo de análisis comprende desde el 2015 al 2023.

La presente investigación se estructura en siete capítulos: (1) introducción, que presenta el problema de investigación, objetivos, hipótesis y hechos estilizados; (2) marco teórico; (3) evidencia empírica (4) metodología; (5) resultados del análisis; (6) conclusiones y (7) recomendaciones.

1.2 Objetivos de la investigación

Determinar el impacto de variables ambientales y regulatorias en la eficiencia técnica de las empresas prestadoras de servicios de agua potable y saneamiento (EPS) peruanas (2015-2023), mediante un análisis de DEA en dos etapas. En la primera etapa, se estimaron los puntajes (scores) de eficiencia de las EPS mediante el método Data Envelopment Analysis (DEA) orientado a insumos y en la segunda, se modelaron las determinantes con regresiones Tobit y Simar & Wilson (2007).

1.3 Objetivos específicos

Los objetivos específicos del presente estudio son los siguientes:

- Estimar la eficiencia técnica de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) mediante un análisis DEA en dos etapas.
- Determinar el impacto de variables ambientales como región, tamaño, número de localidades, densidad y micromedición sobre la eficiencia de las EPS, utilizando regresiones de Tobit y Simar-Wilson (2007).
- Analizar el efecto de la regulación en el sector, sobre la eficiencia de las EPS, considerando la regulación tarifaria, las fiscalizaciones y aplicación del RAT, a partir de estimaciones obtenidas mediante regresiones Tobit y el enfoque Simar & Wilson (2007).
- Evaluar la robustez de los resultados mediante el contraste entre ambos métodos econométricos, examinando la consistencia de las estimaciones obtenidas.

1.4 Hipótesis del estudio

- **Hipótesis (H1) factores ambientales**

  Las características ambientales del entorno operativo de las EPS, como densidad de conexiones, localización geográfica, tamaño, micromedición influyen en los niveles de eficiencia técnica de las EPS.

- **Hipótesis (H2) intervenciones regulatorias**

  La regulación de tarifaria, la transición tarifaria entre periodos regulatorios, las fiscalizaciones y la intervención a la EPS mediante el Régimen de Apoyo Transitorio son factores que influyen en la eficiencia técnica de las EPS.

1.5 Hechos estilizados

En el ámbito urbano peruano (localidades de 15,001 a más habitantes), los servicios de agua potable y saneamiento son administrados por un conjunto de 50 Empresas Prestadoras (EPS). Estas operan bajo un modelo de monopolio natural regulado, con jurisdicciones geográficamente delimitadas y sin competencia directa. Dicha estructura se justifica por las características técnicas del sector, donde los altos costos fijos y las economías de escala hacen económicamente inviable la presencia de múltiples operadores en un mismo territorio.

La regulación de estos servicios recae exclusivamente en la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), conforme lo establece el Artículo 74 de la Ley de Saneamiento. Esta entidad tiene la atribución exclusiva de establecer tarifas por los servicios de agua potable y saneamiento, así como a la fiscalización de la calidad de servicio, entro otros.

La Tabla 2 presenta la relación de las 50 EPS, clasificadas en cinco grupos según su escala operativa (número de conexiones): Grande 1, Grande 2, Mediana, Pequeña y Sedapal, esta última considerada de manera independiente debido a su magnitud particular.

Tabla 2.
50 EPS según número de conexiones de agua potable

Clasificación	Conexiones	N° de EPS	EPS	
	>1,000,000	1	SEDAPAL S.A.	
EPS Grande 1	Más 100,000-hasta 1,000,000	6	EPS Tacna S.A.	Sedapar S.A.
			Sedalib S.A.	Epsel S.A.
			EPS Sedacusco S.A.	EPS Grau S.A.
EPS Grande 2	Más 40,000-hasta 100,000	13	Emapa San Martín S.A.	Emsapuno S.A.
			EPS Emapa Cañete S.A.	EPS Sedacaj S.A.
			EPS Seda Huánuco S.A.	EPS Sedajuliaca S.A.
			EPS Emapica S.A.	EPS Sedaloreto S.A.
			EPS Sedam Huancayo S.A.	EPS Semapach S.A.
			Seda Ayacucho S.A.	Sedachimbote S.A.
			UE Agua Tumbes	
EPS Mediana	Más 15,000-hasta 40,000	14	Emapacop S.A.	EPS Chavín S.A.
			Emapisco S.A.	EPS Barranca S.A.
			Emusap Abancay S.A.C.	Empssapal S.A.
			EPS Moquegua S.A.	EPSSSCSA.
			Emapa Huaral S.A.	EPS Emapat S.A.
			Aguas De Lima Norte S.A.	EPS Marañon S.A.
			EPS Municipal Mantaro S.A.	EPS Ilo S.A.
EPS Pequeña	<15,000	16	Emusap S.R.Ltda.	Emapa - Hvca S.A.
			Epssmu S.R. Ltda	Emapa Y S.R.L.
			Emapa Pasco S.A.	EPS Emaq S.A.
			Emapavigs S.A.	Emapab S.R.Ltda.
			EPS Sierra Central S.R.Ltda.	EPS Nor Puno S.A.
			EPS Moyobamba S.R.Ltda.	EPS Emsap Chanka S.A
			EPS Aguas Del Altiplano S.R.L.	EPS Empsapa Calca S.A.
			Emsapa Yauli La Oroya S.R.L.	EPS Rioja S.A.

Fuente: Adaptado de Benchmarking regulatorio de las empresas prestadoras: Informe anual 2023, Sunass (2023, p. 8).

Por otra parte, las 50 EPS, según tipo de propiedad son entidades municipales y públicas, como se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3.
EPS según tipo de propiedad

Tipo de entidad prestadora	Número	Característica principal
EPS municipales	48	Accionariado municipal
Unidad Ejecutora 002	1	UE Agua Tumbes, administrada por el OTASS
Empresa Estatal	1	Sedapal S.A., responsable del servicio en Lima y Callao
Total EPS	50	

Fuente: Adaptado de Benchmarking regulatorio de las empresas prestadoras: Informe anual 2023, Sunass (2023, p. 7).

Además, dentro de la política estatal en el sector saneamiento, el Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS), creado en el 2016, tiene a su cargo la gestión de los servicios de agua potable y saneamiento. Entre sus intervenciones destaca el Régimen de Apoyo Transitorio (RAT), mediante el cual el OTASS asume temporalmente la administración de EPS para mejorar su eficiencia a través de medidas de reflotamiento económico, financiero y operativo. Cabe precisar que, aunque la Sunass elabora los informes técnicos que evalúan a las EPS, es el OTASS quien prioriza y decide su ingreso o salida del régimen. En este contexto, el presente estudio busca evaluar el impacto del RAT como intervención regulatoria en la eficiencia técnica de las EPS.

Al 2023, 18 EPS se encuentran bajo RAT, según información publicada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass) en su portal institucional. Esta lista incluye, a Emapa San Martín S. A., EPS Moyobamba S. A., EPS Barranca S. A., EPS Ilo S. A., Emapa Huaral S. A., Emapacop S. A., EPS Emapica S. A., Emapavigs S. A., EPS Semapach S. A., Emapisco S. A., Epsel S. A., EPS Sedaloreto S. A., Epssmu S. A., Emapab S. A., EPS Emapa Cañete S. A., Emusap S. A., EPS Marañón S. A., EPS Seda Huánuco S. A.

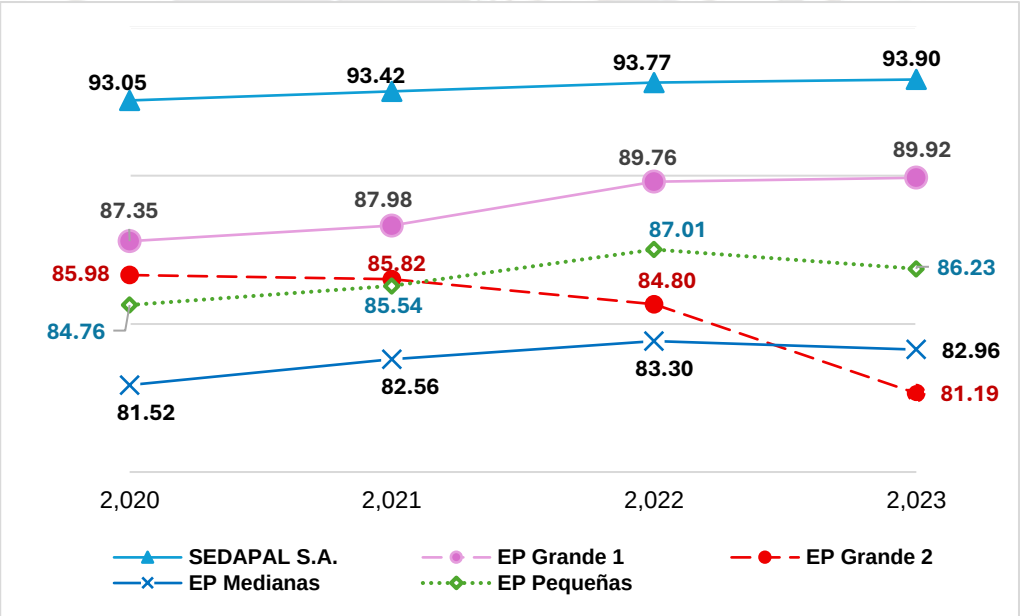
A continuación, se analiza el comportamiento de los principales indicadores de las EPS según su tamaño.

- **Cobertura de agua potable.**

Entre 2020 y 2023, se observa una evolución diferenciada en los niveles de cobertura de agua potable entre los grupos de EPS. Sedapal S.A. mantuvo los porcentajes más altos y estables, alrededor del 93.5% en promedio. Las EPS Grandes 1 registraron una mejora significativa, pasando de 87.35% a 89.92%. En contraste, las EPS Grandes 2 mostraron un retroceso preocupante, desde 85.98% hasta 81.19%. Los grupos de EPS Medianas y Pequeñas presentaron comportamientos fluctuantes, ubicándose por debajo del 87% de cobertura en el 2023.

Figura 1.

Cobertura servicios de agua potable (%), periodo 2020-2023



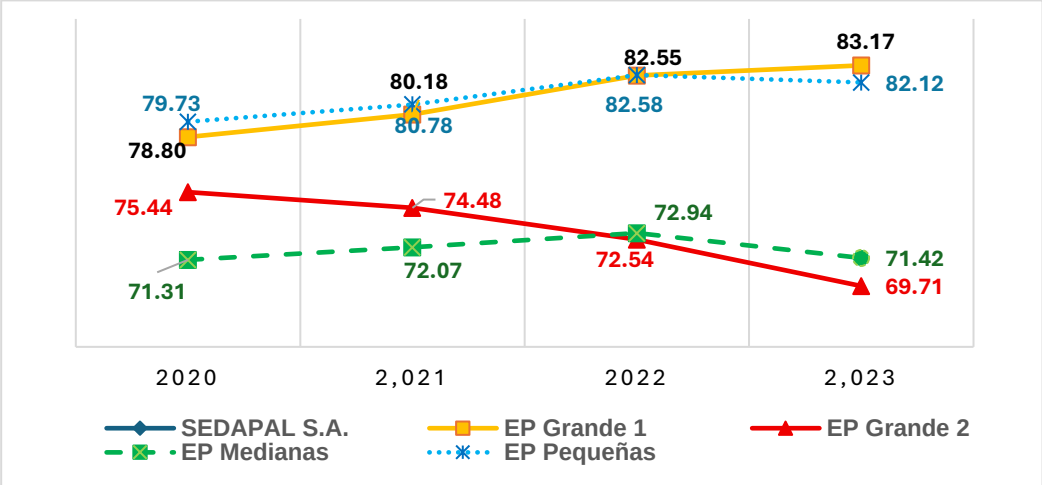
Fuente: Adaptado de *Benchmarking regulatorio de las empresas prestadoras: Informes anuales 2020–2023*, Sunass.

- **Cobertura de los servicios de saneamiento, según tamaño de empresa**

Durante el periodo 2020–2023, la cobertura del servicio de saneamiento registró un avance moderado en Sedapal S.A. (de 90.54 % a 91.40 %) y en las EPS clasificadas como Grandes 1 (de 78.80 % a 83.17 %). Sin embargo, entre 2022 y 2023 se evidenció un retroceso en las EPS Grandes 2, cuya cobertura se redujo de 72.54 % a 69.71 %; en las EPS Medianas, de 72.94 % a 71.42 %; y en las EPS Pequeñas, de 82.58 % a 82.12 %.

Figura 2.

Cobertura servicios de saneamiento (%) periodo 2020-2023



Fuente: Adaptado de *Benchmarking regulatorio de las empresas prestadoras: Informes anuales 2020–2023*, Sunass.

- **Tratamiento de aguas residuales**

Según datos de la SUNASS, solo 31 de las 50 EPS en el Perú cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), la lista se detalla en el Anexo 1, lo que revela una brecha significativa en la cobertura de este servicio esencial. La situación es especialmente crítica en las EPS pequeñas, donde apenas 5 de las 16 (31%) disponen de PTAR, en contraste con el 100% de las EPS grandes (6 de 6). Sin embargo, la existencia de infraestructura no garantiza por sí misma la

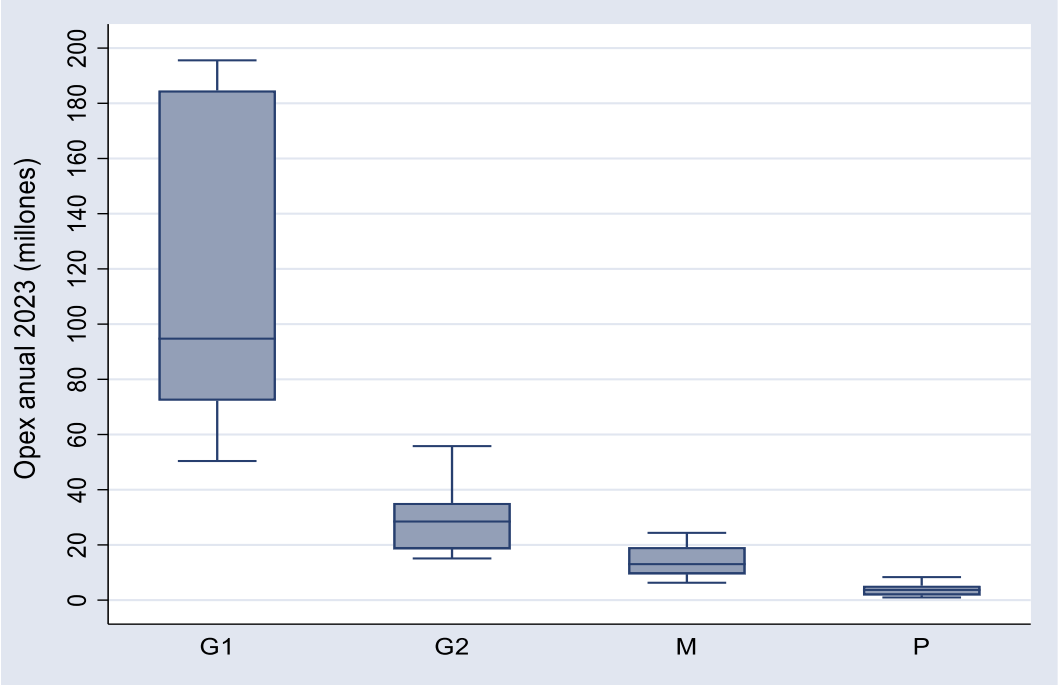
protección ambiental, pues el tratamiento debe cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

Según el indicador de Tratamiento Efectivo de Aguas Residuales (TEAR), implementado por la Sunass, se dispone de información correspondiente al periodo 2019–2023. En el año 2019, el valor del indicador fue de 65.33%, lo que refleja que únicamente ese porcentaje de aguas residuales recibió tratamiento efectivo. Sin embargo, se observa una tendencia decreciente en los años posteriores, alcanzando en 2023 un nivel de apenas 57.94%.

- **Costos totales de operación**

Respecto los costales de operación, según cifras de la Sunass 2023, se advierte marcadas diferencias entre tamaño de EPS, como se muestra en la figura siguiente.

Figura 3.
Costos totales de operación, año 2023



Fuente: Adaptado de *Benchmarking regulatorio de las empresas prestadoras: Informes anuales 2020–2023*, Sunass. Incluye información adicional proporcionada por Sunass mediante solicitud de acceso público (2025).

2. Marco Teórico

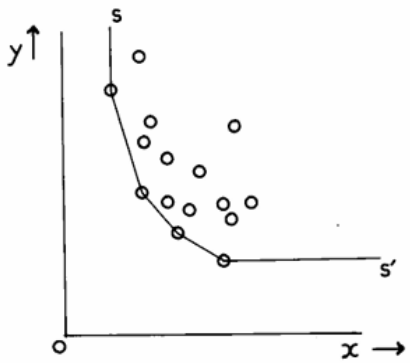
El Análisis Envolvente de Datos (DEA), formalizado por Charnes, Cooper y Rhodes (1978), representa una evolución metodológica del marco conceptual de Farrell (1957). El modelo de Farrell, conocido como el enfoque farrelliano presenta tres pilares fundamentales para medir la eficiencia:

1) Una firma que emplea dos insumos (x_1, x_2) para producir un único producto (y).
2) Rendimientos constantes a escala: proporcionalidad estricta entre insumos y producto. $\lambda . f(x) = f(\lambda x)$ para todo $\lambda > 0$
3) Frontera conocida: Existencia de una isocuanta unitaria eficiente (SS'), definida por el conjunto: $\{(x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2_+ \mid f(x_1, x_2) = 1\}$ que representa las combinaciones mínimas de los insumos necesarios para producir y=1.

Por otro lado, cualquier combinación de insumos ubicada por encima de SS′, en la región $\{(x_1, x_2) | f(x_1, x_2) < 1\}$ indica una situación de ineficiencia técnica por uso excesivo de recursos. El enfoque de Farrell ofrece así una teoría geométrica para medir eficiencia sin orientación predefinida, siendo la distancia a SS′ una métrica radial neutra.

Figura 4.

Isoquanta eficiente (SS´) y firmas fuera de la frontera eficiente



Nota. Reproducido de Farrell, 1957, p. 256)

Charnes, Cooper y Rhodes (1978) transformaron los fundamentos teóricos de Farrell en una herramienta operativa mediante programación matemática, al introducir el concepto de *Decision Making Unit* (DMU, Unidad Tomadora de Decisiones) que alude a la toma de decisión de una empresa que suministra o produce bienes. El modelo CCR resultante (Charnes et al., 1978), considerado la formulación original del DEA, se caracteriza por los siguientes supuestos:

1. **Generalización dimensional**: Extensión a m insumos y s productos.
2. **Frontera empírica**: Construcción no paramétrica de la frontera eficiente desde datos observados, eliminando el supuesto de forma funcional conocida y capturando eficiencia *relativa* entre DMUs.
3. **Corrección cuantificable**: el modelo se formula como un problema de programación lineal *input-oriented* que busca la **máxima reducción radial proporcional (θ)** de todos los insumos, manteniendo constantes los niveles de producto. Esto implica el supuesto de **rendimientos constantes a escala**. La formulación para la DMU_0 es:

$$\theta^* = \min \theta$$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j \leq \theta x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j \leq y_{r0} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\lambda_j \geq 0 \qquad j = 1, 2, \dots, n$$

Posteriormente, Banker, Charnes y Cooper (1984) extendieron el modelo CCR al incorporar **rendimientos variables a escala**, formalizando el modelo BCC. Esta

formulación se fundamenta en los axiomas de tecnología de producción de Shephard (1970), que definen el conjunto de posibilidades de producción, sin requerir formas funcionales especificar: $T = \{(x, y) \in \mathbb{R}_+^{m+s} | \text{ x puede producir y}\}$.

Los axiomas fundamentales del modelo BCC se resume en la siguiente tabla:

Tabla 4.

Axiomas del conjunto de producción en DEA BCC

Axioma	Formulación	Implicación en DEA
Convexidad	Si $(x, y) \in T$ y $(x', y') \in T$ entonces $\lambda(x + y) + (1 - \lambda)(x', y') \in T$ $\forall \lambda \in [0,1]$	Permite la restricción $\sum \lambda_j = 1$ Combinaciones lineales factibles.
Libre disposición	Si $(x, y) \in T, entonces$: $a)\ \hat{x} \geq x \Rightarrow (\hat{x}, y) \in T$ $b)\ \hat{y} \leq y \Rightarrow (x, \hat{y}) \in T$	Garantiza factibilidad de holguras no radiales. Modelo ineficiencia técnica en insumos/productos.
Cerrado	*T* es cerrado	Asegura existencia de solución óptima (Evita problemas de fronteras abiertas).
Origen	$(0,0) \in T$ $y \neq 0 \Rightarrow x \neq 0$	Elimina soluciones triviales (Consistencia económica).

Fuente: Adaptado de *Banker et al., 1984.*

La evolución metodológica del Análisis Envolvente de Datos (DEA) ha estado marcada por la necesidad de superar limitaciones iniciales. Específicamente, la incorporación de: i) procedimientos de inferencia estadística, ii) sensibilidad a factores contextuales que afectan la eficiencia, y iii) mecanismos para explicar las variaciones observadas, condujo al desarrollo de modelos en dos etapas. En estos, las estimaciones de eficiencia técnica derivadas de la primera fase se someten a análisis mediante técnicas econométricas. Este salto hacia el análisis econométrico refleja la creciente sofisticación del DEA, dando lugar a enfoques híbridos contemporáneos. Esta integración es particularmente crucial para evaluar el desempeño en sectores regulados, como los servicios de agua potable, donde las decisiones de política exigen transparencia y solidez analítica.

La Tabla 5 resume los hitos clave en este desarrollo, destacando cómo la incorporación de factores exógenos y técnicas estadísticas ha enriquecido su aplicabilidad empírica

Tabla 5.
Resumen de evolución metodológica del análisis DEA

Periodo	Técnica	Contribución principal	Autores Clave	Aplicación Típica
1957	Base conceptual	Medición de eficiencia técnica respecto a una frontera no paramétrica	Farrell	Agricultura
1978	DEA-CCR (CRS)	Eficiencia radial con rendimientos constantes de escala	Charnes, Cooper, Rhodes	Sector público
1984	DEA-BCC (VRS)	Adapta la frontera a rendimientos variables; distingue ineficiencia técnica de escala	Banker, Charnes, Cooper	Educación, salud
1993	Supereficiencia	Ranking de unidades eficientes; detección de *outliers*	Andersen, Petersen	Banca
1994	DEA-Malmquist	Mide cambios de productividad temporal	Färe et al.	Manufactura
2001	SBM (no radial)	Captura holguras no proporcionales en insumos/productos	Tone	Energía, medioambiente
2007	DEA + Tobit (2ª etapa)	Modelado de eficiencia con variables externas al modelo DEA (variables exógenas**)	Hoff, A.	Educación, servicios públicos
2007	DEA + Bootstrap truncado	Corrección de sesgos en regresiones de segunda etapa	Simar, Wilson	Servicios públicos
2020s	DEA Híbrido (IA/Big Data)	Integración con aprendizaje automático y sostenibilidad	Zhu, Wanke, Azad	Innovación regulatoria

Fuente: Adaptado de Mergoni et al. (2025) y Cooper et al. (2011).

2.1 Modelo Tobit en la segunda etapa del DEA

Hoff (2007, p. 426) propone el modelo Tobit como una alternativa para superar las limitaciones explicativas del DEA convencional, el cual, por sí solo, no permite analizar las causas subyacentes de la eficiencia observada. En este enfoque, la primera etapa identifica las eficiencias técnicas (θ), mientras que la segunda analiza sus determinantes a partir de variables ambientales (explicativas). Estas pueden estar asociadas a factores institucionales, regulatorios o vinculados a la

gestión operativa de las DMU; es decir, elementos externos que inciden en su desempeño mediante:

- Variable latente (eficiencia "real" no observada)

$$\theta_i^* = x_i\beta + \varepsilon_i, \qquad \varepsilon_i \sim i.i.d.N(0,\sigma^2)$$

- Variable observada (score DEA censurada entre 0 y 1):

$$\theta_i = \begin{cases} \theta_i^* & si\ \theta_i^* < 1 \\ 1 & si\ \theta_i^* \geq 1 \end{cases}$$

- Ecuación aplicada (ejemplo con variables contextuales):

$$\theta_i = \beta_0 + \beta_1 * \mathcal{L}n(\text{población}_i) + \beta_2 \text{regulación}_i + \cdots + \varepsilon_i$$

Regulación: intensidad de fiscalización (N° auditorias/población) x (índice 0-10).

Tamaño: Control de economías de escala mediante ln(población).

Interpretación:

- $\theta_i = 1$: DMU eficiente
- $\theta_i < 1$: DMU ineficiente

Estimación por máxima verosimilitud:

$$\mathcal{L} = \prod_{\theta_i<1} \frac{1}{\sigma}\phi\left(\frac{\theta_i - x_i\beta}{\sigma}\right) \prod_{\theta_i=1} \Phi\left(\frac{1 - x_i\beta}{\sigma}\right)$$

Donde: $\phi(.)$ y $\phi(.)$ son las funciones de densidad y distribución normal estándar.

2.1.1 Críticas metodológicas y limitaciones

La literatura especializada ha identificado limitaciones sustantivas en el modelo CCR (Simar & Wilson, 2007), las cuales se resumen en los siguientes puntos:

1. **Correlación entre todas las DMUs**

   Los scores de eficiencia (θ estimado) no son independientes:

   - Todos usan la misma frontera de referencia
   - $Cov(\hat{\theta}_i, \hat{\theta}_j) \neq 0$ por dependencia de una misma frontera estimada.
   - Esto viola el supuesto de errores (ε_i) independientes idénticamente distribuido (i.i.d.)

2. **Error de medición**

   θ estimado = θ verdadero + Error

   - El error tiene sesgo negativo (especialmente en muestras pequeñas n<50)

3. **Censura artificial**

   Límite problemático: **$\theta_i \leq 1$**

   - Trata los scores DEA como valores exactos (cuando son estimaciones)
   - Ignora el error de medición en el límite de eficiencia
   - Distorsiona resultados estadísticos

2.1.2 Interpretación de los Resultados y la Necesidad de los Efectos Marginales

Asimismo, en los modelos Tobit los coeficientes β estimados representan el efecto de una variable independiente sobre la *variable latente* (θ*), la eficiencia teórica no observada, y no directamente sobre la variable observada y censurada (θ). Por lo tanto, un β positivo indica que un aumento en la variable explicativa eleva la eficiencia latente, lo que a su vez aumenta la probabilidad de que una DMU sea eficiente (alcance el límite de 1) y, para las DMU ineficientes, incrementa su nivel de eficiencia observado. Sin embargo, la relación no es lineal debido a la censura. Para comprender el efecto real y cuantificable de cada variable, es necesario calcular los Efectos Marginales.

2.2 Enfoque de Doble Bootstrap (Simar y Wilson, 2007)

Para superar las limitaciones del modelo Tobit en la segunda etapa DEA, Simar y Wilson (2007) desarrollaron un enfoque de doble bootstrap con regresión truncada. Este método corrige:

- Sesgo estadístico inherente a los *scores* DEA
- Correlación serial entre DMUs por el uso de una frontera común.
- Error de medición mediante inferencia robusta con remuestreo

2.2.1 Algoritmo metodológico

1. **Paso 1**

   Primera etapa: **Cálculo de eficiencia técnica $\boldsymbol{\theta \rightarrow \delta}$**

   Estimación de los scores DEA orientado a insumos:

   $\hat{\theta}_i = \min(\theta | \theta x_i \text{ puede producir } y_i) \qquad i=1, \ldots n$

   $X \in \mathbb{R}_+^p$ un vector de inputs (ejemplo: mano de obra, capital)

   $Y \in \mathbb{R}_+^q$ un vector de outputs (ejemplo: productos, servicios)

Interpretación:

$0 \leq \theta_i \leq 1$;

$\theta = 1$: DMU técnicamente eficiente (frontera optima)

$\theta < 1$: Representa el nivel de ineficiencia.

2. **Paso 2: transformación critica (reorientación)**

   En modelos orientados a insumos, los scores de eficiencia θ_i pueden analizarse directamente mediante modelos Tobit censurados, ya que están censurados entre 0 y 1 (Coelli et al., 2005; Banker & Natarajan, 2008). La transformación a $\delta_i = 1/\theta_i$ es útil principalmente para modelos output-oriented (Berg, 2010).

3. **Paso 3: Primer bootstrap (corrección de sesgo y dependencia)**

   Procedimiento:

   Remuestreo paramétrico de $\{\delta_i\}$ mediante Kernel adaptativo.

$$\tilde{\delta}_i^{(b)} = \delta_i + \widehat{Bias}_n^{(b)}$$

   Este paso corrige:

   - Sesgo estadístico de DEA ($\mathbb{E}(\hat{\theta}_i) \neq \theta_i$)
   - Correlación serial entre DMUs ($Cov\left(\delta_i, \delta_j\right) \neq 0$)

4. **Paso 4: Regresión truncada**:

   Modelado de eficiencias corregidas

   Los scores corregidos $\hat{\delta}_i$, se modelan mediante:

$$\hat{\delta}_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^{r} \beta_k z_{ki} + \varepsilon_i$$

$$\widehat{\psi(z_i, \beta)}$$

Supuestos clave:

- $\varepsilon_i \backsim N\ (0, \sigma_\varepsilon^2)$ truncada a la izquierda en 1- $\psi(z_i, \beta)$
- Variables z_i exógenas (ejemplo: gestión, regulación tarifaria)
- $Z \in \mathbb{R}_+^r$ un vector de variables ambientales de dimensión r (pueden ser continuos o discretos).

5. **Paso 5: Segundo Bootstrap** (inferencia robusta)

Procedimiento:

- Generar residuos Bootstrap: $\hat{\varepsilon}_i^* \sim \hat{\mathcal{F}}_\varepsilon$
- Construir pseudodatos: $\delta_i^* = \psi(z_i, \hat{\beta}) + \hat{\varepsilon}_i^*$
- Reestimar en cada iteración (B= 2,000)
    - Frontera DEA con δ_i^*
    - Nuevos $\hat{\beta}^{(b)}$ vía regresión truncada
- Calcular:
    - Errores estándar de los estimadores
    - Intervalos confianza 95%; $IC_{0.95}$= [$q_{0.95}$, $q_{0.975}$]

Cabe mencionar que el uso de **2,000 iteraciones** en el segundo bootstrap del enfoque de Simar y Wilson (2007) se basa en criterios estadísticos y empíricos para garantizar precisión en la inferencia y estabilidad de los estimadores en contextos de:

- Alta correlación serial entre DMUs.
- Distribuciones no normales en residuos.
- Muestras finitas.

Los datos para el análisis empírico se representan como:

- El conjunto de observaciones (***Sn)*** contiene datos de n unidades (empresas, países, etc.), y se representa como:

$$\mathcal{S}_{\mathrm{n}} = \{(x_i, y_i, z_i)\}_{i=1}^{n}$$

- (x_i, y_i, z_i): Cada observación i (para i = 1,….., n) incluye tres vectores:
  - x_i: Variables de **entradas/insumos** (ej.: mano de obra, capital).
  - yi: Variables de **salidas/productos** (ej.: bienes producidos).
  - z*i*: Variables **ambientales/exógenas** (ej.: regulaciones, clima).

- $\mathcal{P}$ conjunto de producción factible y requerimientos específicos de insumos; $\mathcal{Y}(x) \equiv \{ y | (x, y) \in \mathcal{P}\}$ y $X(x) \equiv \{ x | (x, y) \in \mathcal{P}\}$

2.2.2 Supuestos

El enfoque de Simar & Wilson (2007) requiere de ocho supuestos fundamentales que garantiza la validez estadística del modelo. A continuación, se presentan con su formalización técnica y justificación:

- **Separabilidad (A1-A2)**

Las variables ambientales z_i afectan δ_i solo a través de:

$$\delta_i = \psi(z_i, \beta) + \varepsilon_i \geq 1$$

donde ε_i es independiente de z_i

Independencia del término de error:

$$\varepsilon_i \perp \varepsilon_j \quad \forall\, i \neq j$$

- **Distribución del error (A3)**

  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ truncada por la izquierda en $1 - \psi(z_i, \beta)$ para cada observación i.

- **Propiedades Tecnológicas (A4-A6):**

  Conjunto de producción $\mathcal{P}$ es cerrado y convexo (A4).

  $\mathcal{P} = \{(x, y) | \, x \, puede \, producir \, y\}$

- **"No free lunch": producción requiere insumos (A5)**

  $y \geq 0, y \neq 0 \Rightarrow x \nleq 0$

- **Libre disposición (monotonicidad) (*A6*).**

  Permite ineficiencia, desperdicio de recursos

  $(x, y) \in \mathcal{P}, \quad x' \geq x, y' \leq y \Rightarrow (x', y') \in \mathcal{P}$

- **Consistencia del Estimador DEA (A7-A8):**

  Densidad positiva cerca de la frontera (*A7*)

  $$\lim_{d \longrightarrow 0^+} \frac{\mathrm{P}(\delta(x, y) \leq d)}{d^\alpha} > 0 \, para \, algún \, \alpha > 0$$

- **Diferenciabilidad de la función eficiencia (*A8*)**

  $\boldsymbol{\delta}\,(\mathrm{x}, \mathrm{y})$ es diferenciable al interior de P.

3. Revisión de la literatura empírica

3.1 DEA aplicado en el sector agua potable y saneamiento

El análisis DEA en dos etapas es una herramienta frecuente para estudiar la eficiencia en servicios de agua y saneamiento. Además de medir la eficiencia, permite incluir factores del ambientales, como el contexto geográfico o regulatorio, que pueden afectar la eficiencia. Sin embargo, la segunda etapa del método ha recibido críticas en la literatura, especialmente por el uso de técnicas convencionales que no siempre aseguran estimaciones confiables, al no corregir adecuadamente la naturaleza acotada y serialmente correlacionada de los scores de eficiencia (0 a 1).

De la revisión de la literatura, se identificó que el método de Simar & Wilson (2007) mantiene su vigencia en el sector agua y saneamiento, por su capacidad para corregir los sesgos de dependencia serial en los scores DEA y ofrecer inferencias válidas mediante bootstrap,

Asimismo, se identificó que la aplicación de modelos DEA en dos etapas requiere una selección de variables consistentemente alineada con la naturaleza del servicio. Según la literatura, la selección de variables en modelos DEA aplicados a servicios de agua debe atender tres criterios fundamentales: representatividad operativa (Berg & Marques, 2011), comparabilidad internacional (Ablanedo-Rosas et al., 2020) y relevancia regulatoria (Salazar-Adams, 2020). Berg y Marques (2011, pp. 87–92) establecieron estándares clave que incluyen como outputs esenciales las conexiones activas (indicador de cobertura social) y el volumen facturado (indicador de eficiencia comercial), mientras que como input principal propusieron los costos operativos excluyendo la depreciación.

Otros, estudios más recientes como el de Carrasco & Freitas (2023) incorporan como inputs los costos operativos (incluyendo depreciación), el número de

personal técnico y el consumo energético. Además, introducen variables contextuales como la densidad poblacional y el porcentaje de pérdidas técnicas, las cuales se consideran determinantes prioritarios para caracterizar el entorno operativo de las empresas. A partir de los puntajes de eficiencia estimados mediante DEA, los autores desarrollan un análisis de segunda etapa que evidencia una menor eficiencia en municipios con agencias reguladoras, lo que sugiere que los costos asociados a la regulación aún no se traducen en mejoras operativas en los servicios de agua y alcantarillado.

La Tabla 6 presenta ocho estudios recientes (2020–2023) en Latinoamérica sobre eficiencia en el sector de agua potable y saneamiento mediante análisis DEA. Seis de ellos incluyen variables de calidad; la excepción es Tourinho et al. (2022), que no incluye indicadores en esa dimensión, lo que podría llevar a sobreestimar la eficiencia. En cuanto a las variables contextuales, se mencionan con frecuencia la densidad poblacional y las pérdidas técnicas, sobre todo en estudios aplicados a México y Brasil. Esta revisión permite reconocer que los estándares propuestos por Berg & Marques han servido como referencia. No obstante, su aplicación requiere ajustes según el contexto y, en algunos casos, el uso de técnicas adicionales como el doble bootstrap para reforzar la robustez de los resultados.

Tabla 6.

Revisión de la literatura

N°	Autor y año	Título	Objetivo principal	Metodología	Variables	Hallazgos
1	Ablanedo-Rosas et al. (2020)	Operational Efficiency of Mexican Water Utilities: Results of a Double-Bootstrap Data Envelopment Analysis	Estimar la eficiencia operativa de las empresas de agua mexicanas e identificar las variables contextuales que influyen en dicha eficiencia.	DEA orientado a insumos (CRS y VRS) Regresión truncada bootstrap (Simar & Wilson, 2007)	Inputs: Distribución de agua (litros consumo por día), Número de empleados por cada mil consumidores. Porcentaje de cuentas con pagos al día. Outputs: volumen de agua distribuida, Contextuales: 3 categóricas (por ejemplo, tipo de propiedad, ubicación geográfica) 2 continuas (como cobertura de alcantarillado, tratamiento de aguas residuales)	Los puntajes bootstrap muestran que las empresas requieren reducciones promedio de insumos del 27,51% (CRS) y 18,68% (VRS) para alcanzar la eficiencia, indicando problemas en gestión técnica (VRS) y escala operativa (CRS/eficiencia de escala = 0.887). Variables contextuales: solo la variable número de conexiones por m^3 de agua perdida tuvo un impacto significativo en la eficiencia. Ni el tratamiento de aguas residuales ni la cobertura de alcantarillado mostraron efectos estadísticamente relevantes.
2	Salazar-Adams (2020)	The efficiency of post-reform water utilities in Mexico	Analizar tipo de gestión y las políticas de reforma en la eficiencia de servicios de agua mexicanos	Double-bootstrap DEA: 1. DEA convencional. 2. Análisis de regresión bootstrap (Simar & Wilson)	Inputs: número de empleados, costos de energía, costos productos químicos Outputs: volumen total de agua suministrada y número de conexiones. Contextuales: ingreso municipal percapita (en logaritmos naturales), densidad poblacional, grado de amenaza por sequía, tipo gestión (pública/privada), aplicación cortes por impagos, autonomía operativa.	Gestión privada asociada a mayor eficiencia. Política de cortes por impagos mejora eficiencia. Reforma de descentralización no incrementó eficiencia
3	Pereira & Marques (2022)	Technical and Scale Efficiency of the Brazilian Municipalities' Water and Sanitation Services: A Two-Stage Data Envelopment Analysis	Medir la eficiencia técnica y de escala de los servicios de agua y saneamiento en municipios brasileños, considerando el entorno contextual.	Two-stage DEA: 1. Estimación de eficiencia CCR/BCC. 2. Regresión Tobit con variables ambientales	Inputs: Costos operativos, personal. Outputs: Volumen de agua distribuida, población atendida. Contextuales: Fuente de agua (superficial/subterránea), propiedad (pública/privada), región geográfica	Las empresas privadas de agua en México muestran mayor eficiencia que las públicas, especialmente bajo regulación local. La descentralización hacia municipios no mejoró significativamente el desempeño. La política de corte por falta de pago se asocia positivamente con la eficiencia, aunque plantea dilemas sobre el acceso universal.

N°	Autor y año	Título	Objetivo principal	Metodología	Variables	Hallazgos
4	Carrasco & Freitas (2023)	Regulation and Efficiency of Public Water and Sewer Services in Brazil	Evaluar el impacto de agencias reguladoras en la eficiencia de servicios de agua y alcantarillado en Brasil.	DEA en dos etapas: 1. DEA-VRS 2. Regresión panel con efectos fijos (2015-2019)	Inputs: Inversión, gasto operativo Outputs: Cobertura agua, cobertura alcantarillada. Contextuales: Presencia de agencia reguladora municipal, tipo concesión (pública/privada)	Municipios con concesiones privadas son más eficientes. Presencia de agencias reguladoras reduce eficiencia (-12%), posiblemente por costes burocráticos
5	Tourinho et al. (2022)	Performance assessment of water services in Brazilian municipalities: An integrated view of efficiency and access	Evaluar el desempeño de servicios de agua y saneamiento en municipios brasileños, considerando eficiencia y acceso.	DEA clásico orientado al output, análisis descriptivo de acceso y prueba Mann-Whitney	Inputs: Gasto operativo (OPEX) Outputs: Número de conexiones agua potable y alcantarillado, volumen de agua consumida, volumen de agua residuakes recolectadas, volumen de aguas residuales tratadas, la longitud de la red de suministro de agua, longitud de la red de alcantarillado. Contextual: locación geográfica, naturaleza jurídica, densidad (clientes/km red)	Correlación negativa entre eficiencia operativa y cobertura universal. La densidad de clientes no tuvo impacto significativo, pero el uso de aguas subterráneas sí mejoró la eficiencia. Diseño regulatorio debe equilibrar eficiencia y acceso
7	Flegl & Hernández-Gress (2023)	Factors Impacting Technical Efficiency in Mexican WUOs: A DEA with a Spatial Component	Evaluar la eficiencia técnica de 49 operadores de agua usando datos del 2020	DEA-Tobit espacial: 1. DEA-CRS/DEA-VRS. 2. Modelo Tobit con covariables espaciales	Inputs: Costos totales, empleados Outputs: Volumen producido, población servida Contextuales: Región, disponibilidad hídrica, densidad poblacional	Eficiencia media: 0.73 (CRS) y 0.82 (VRS). Ubicación geográfica no es factor determinante. Densidad poblacional explica +45% variabilidad eficiencia
8	Mocholi-Arce, Maziotis, Sala-Garrido & Molinos-Senante (2022	Performance assessment of the Chilean water sector: A network data envelopment analysis approach	Evaluar el desempeño de costos y operación de las empresas de agua en Chile incorporando calidad del servicio.	Análisis envolvente de datos en red (Network DEA) en dos etapas, aplicado a datos de 2010–2018.	Inputs: Costos operativos. Outputs: Volumen de agua, indicadores de calidad. (pública/privada/concesión), variables exógenas.	Las empresas chilenas tienen margen para reducir costos y mejorar operaciones. La empresa pública mostró mejor desempeño que las privadas y concesionarias.

Fuente: Elaboración propia en base a la revisión de literatura.

3.2 Revisión de la literatura: Estudios de eficiencia en el Perú

Los primeros estudios sobre eficiencia en EPS en el Perú, como el de Corton (2003), compararon costos operativos reales con estimaciones por mínimos cuadrados ordinarios, generando un índice de eficiencia para 41 EPS, aunque sin vincular claramente eficiencia y rentabilidad. Posteriormente, Lin (2005) y Stanford & Lin (2008) introdujeron técnicas como DEA y SFA, revelando que la exclusión de variables de calidad —como cloro residual o continuidad— distorsionaba significativamente los rankings regulatorios, lo que cuestionó los criterios de benchmarking empleados por SUNASS, basados en ponderación de indicadores.

Mas adelante, Urrunaga (2013) y Bonifaz & Itakura (2014) incorporaron factores ambientales y de escala, revelando que las EPS privadas eran, en promedio, 18% más eficientes; asimismo, observaron que el tamaño de red y el agua no facturada contribuían a la ineficiencia. Por otra parte, el estudio de Díaz (2016) aplicó DEA condicional, ajustando por densidad poblacional para reducir sesgos; aunque el modelo al ser determinístico, no permitía establecer relaciones causales.

Mientras que, Benavente (2019) profundizó el análisis de eficiencia mediante panel SFA y regresión lineal, incorporando variables como altitud, densidad y tipo de gestión. Su estudio identificó deseconomías de escala en numerosas EPS y señaló la necesidad de adaptar los modelos regulatorios al entorno operativo. La Tabla 7 resume las principales investigaciones sobre eficiencia de EPS en el Perú.

Tabla 7.

Estudios sobre eficiencia de EPS en el Perú

N°	Autor y año	Título	Objetivo principal	Metodología	Variables	Hallazgos
1	M.L. Corton (2003)	Benchmarking in the Latin American Water Sector	Evaluar la eficiencia en costos de 41 EPS	Modelo: Frontera Técnica: Regresión Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) Datos: años 1996-1998.	**Dependiente:** ○ Ln (costo operativo). **Variable independiente:** ○ Ln (volumen producido). ○ Ln (kilómetros de red). ○ Ln (distritos administrados). Dummy costa (región 3 = costa). ○ Dummy sierra (región 1 = sierra). *variables en logaritmos	○ No hay relación entre eficiencia y rentabilidad. ○ Entre las EPS más eficientes, se ubicaron: Emapa Pasco S.A. Sedajuliaca S.A. Emapa-Y S.R.LTDA. Emapa Pisco S.A.
2	Lin C. (2005)	Service Quality and Prospects for Benchmarking: Evi dence from the Peru Water Sec tor	- Evaluar el impacto de variables de calidad en rankings de eficiencia de 38 EPS (1996-2001) mediante SFA.	Modelo principal: SFA (Frontera de costos) con panel data (38 EPS, 1996-2001)	**Dependiente:** ○ Log (Costo total: costo operativo, administrativo, financiero y depreciación). **Variables independientes:** ○ Log (Agua facturada (m^3)) ○ Log (conexiones activas). ○ Los (salario) ○ Log (precio capital) **Variables calidad:** ○ Cloro residual (%). ○ Continuidad del servicio ○ Agua no facturada	○ Incluir agua no contabilizada reduce el ranking de 12/38 EPS ○ SUNASS sobreestima eficiencia al ignorar relaciones costo-calidad ○ SFA y DEA son consistentes entre sí.
3	Stanford & Lin (2008)	Consistency in performance rankings: The Peru water sector	Evaluar la consistencia de rankings de eficiencia en EPS generados por 3 metodologías: DEA, SFA y Benchmarking SUNASS.	Modelos comparados: - DEA (orientación insumo) - SFA (frontera estocástica de costos) - Benchmarking Sunass (9 indicadores con pesos iguales)	**SFA** (frontera de costos) con: Variables en logaritmos. **Dependiente**: ln(Costo total). **Independientes**: ln(Agua facturada), ln(Conexiones), ln(Precio insumos). **Calidad**: Ratio agua contabilizada (%), cloro residual (%), continuidad servicio. Asume forma funcional (ej: Cobb-Douglas)	○ Alta correlación SFA-DEA (ρ=0.78). ○ Al incluir variables de calidad cambia en ranking de eficiencia. ○ Benchmarking de Sunass necesita incluir variables de calidad.

N°	Autor y año	Título	Objetivo principal	Metodología	Variables	Hallazgos
				Datos: Panel data (30 EPS, 1996-1998)	**DEA** **Outputs:** Agua facturada (m^3), número clientes, cobertura, continuidad **Inputs:** Costo total (USD), Costo laboral (USD), número de conexiones	
4	Urrunaga (2013)	Fronteras de eficiencia y cambio tecnológico en las empresas proveedoras de agua en Perú	Evaluar eficiencia técnica estática (SFA) y dinámica (DEA-Malmquist) en 37 EPS (1996-2010), identificando brechas tecnológicas regionales y factores de ineficiencia.	Modelo SFA para análisis estático; índice Malmquist DEA para productividad dinámica (eficiencia técnica, cambio tecnológico, escala). Validación mediante razón de verosimilitud (Translog vs. Cobb-Douglas) y bootstrapping (1,000 repeticiones en DEA-Malmquist).	**SFA (frontera de costos):** Variables en logaritmos. **Dependiente:** clientes, precios de insumos, salario, estructura. **Independientes:** micromedición, cobertura (agua potable, alcantarillado), cloro, continuidad, pérdidas. **DEA – Índice Malmquist:** Outputs: Agua facturada, Conexiones Inputs: Costo laboral, OPEX, Capital	EPS presentan economías de densidad, reducción de costos al aumentar producto. Calidad del servicio aspecto importante explicar ineficiencia. Correlación negativa entre tamaño de EPS y la ineficiencia.
5	José Luis Bonifaz & Reik Itakura (2014)	An Analysis of Inefficiency of Big Urban Water Utilities in Latin America	Evaluar la ineficiencia técnica y la existencia de economías de escala/densidad en empresas de agua urbanas de América Latina, comparando operadores públicos y privados.	Modelo SFA con función de costos Translog y efectos temporales; panel desbalanceado (1999–2010) con 12 empresas de 9 países América Latina. Criterio de selección: cobertura urbana >500,000 habitantes.	**Dependiente:** - ln(Costo total) (OPEX + CAPEX) **Independientes:** - Outputs: ln(Agua distribuida), ln(Conexiones) - Tamaño: Longitud de red (km) - Propiedad: Dummy (pública/privada) - Calidad: % Agua no contabilizada.	Los operadores privados son un 18% más eficientes que los públicos. No se observan economías de escala ni densidad en eempresas grandes. La ineficiencia aumenta con el tamaño de red (+22%) y el agua no contabilizada (+30%), ambos con alta significancia (p<0.01).

N°	Autor y año	Título	Objetivo principal	Metodología	Variables	Hallazgos
6	Díaz Guillermo (2016)	Benchmarking the Efficiency of Public Water Companies in Peru: A Conditional DEA Approach	Analiza la eficiencia de 43 empresas de agua potable y saneamiento, sin incluir Sedapal. Periodo 2006-2013	Técnica de benchmarking basada en el análisis envolvente de datos condicional (DEA condicional) orientado a insumos (CRS y VRS) Basado en Simar (2005)	**Variable insumo:** - Costos operativos - Número de empleados - Longitud de red. **Variable producto:** - Agua facturada (m³) - Cobertura (%) - Continuidad (hrs/día) **Variable contextual:** Densidad poblacional (hab/km)	Incorpora la densidad poblacional como variable contextual. Este ajuste permite comparaciones de eficiencia más equitativas entre empresas que operan en entornos heterogéneos. No obstante, el carácter determinista del modelo limita su capacidad para inferencias estadísticas formales, restringiendo el análisis causal de factores subyacentes.
7	Benavente, Andrea (2019)	Tesis Análisis de la eficiencia técnica en los servicios de saneamiento en el Perú urbano, 2008-2016	Analizar la eficiencia técnica EPS (2008-2016), identificando factores determinantes y evaluando características asociadas a su gestión.	SFA panel efectos fijos Segunda etapa: modelo de regresión lineal que incluye variables ambientales	**Variable insumo:** ○ Variables en logaritmos. ○ Personal operativo, longitud de red (km), costos operativos, **Variable producto**: - Volumen de agua tratada (m³), cobertura de alcantarillado **Variables contextuales:** - Densidad poblacional, altitud (costa/sierra), tipo de gestión (público/mixto)	Las EPS operan en una etapa de deseconomías de escala: el aumento del volumen producido incrementa los costos operativos medio. Variables significativas en ineficiencia: porcentaje de cobertura de agua y el índice de precipitación

Fuente: Elaboración propia en base a la revisión de literatura.

4. Metodología

El presente capítulo detalla el marco metodológico para evaluar la eficiencia técnica de las EPS en Perú (2015-2023), mediante DEA en dos etapas con regresiones de Tobit y Simar & Wilson (2007).

4.1 Periodo y Base de Datos

- **Muestra**: Panel balanceado de 47 EPS (2015-2023).
- **Fuentes**:
    - Datos del Benchmarking Sunass (2015-2023).
    - Estudios tarifarios de Emapa-Y S.A., Emapa Pasco S.A., Emusap S.A., Emaq S.A.
    - Memorias anuales de Emapisco S.A., Seda Huánuco S.A., EPS Moyobamba S.A., EPS Tacna S.A., Emapa Cañete S.A., Emapat S.A., Emapavigssa S.A.).
    - Información estadística de empresas prestadoras proporcionadas por la Sunass mediante la solicitud de acceso a información pública.

4.2 Modelo DEA en la Primera etapa

Se eligió un modelo **DEA orientado a insumos bajo el supuesto de rendimientos variables a escala (VRS)** debido a la naturaleza de las EPS como monopolios naturales regulados, donde los outputs (conexiones activas, volumen de agua producido y facturado) están determinados exógenamente por la demanda. El enfoque orientado a insumos permite evaluar la capacidad de las EPS para optimizar el uso de recursos, lo cual resulta especialmente relevante ante los desafíos de sostenibilidad que enfrentan. Asimismo, se optó por realizar el análisis bajo el supuesto de rendimientos variables a escala (VRS), dadas las heterogeneidades en la escala de producción de las EPS peruanas, la literatura

especializada (García-Sánchez, 2006; Berg, 2010) respalda el uso de VRS en estudios de eficiencia aplicados a sectores con alta diversidad estructural,

La formulación del modelo, se presenta mediante la siguiente frontera de eficiencia:

$$Frontera\ DEA - VRS = \{(X,Y)|Y \leq \sum_{k=1}^{n} \lambda_k Y_k\ , X \geq \sum_{k=1}^{n} \lambda_k X_k\ ,\ \sum_{k}^{n} \lambda_k = 1,\ \lambda_k \geq 0\}$$

Donde:

- X, Y = vectores de insumos y productos
- X_k, Y_k = insumos y productos de la DMU k
- λ_k = pesos de la combinación lineal
- $\sum \lambda_k = 1$ = restricción de rendimientos variables a escala (VRS)

4.2.1 Selección de las variables

La selección de variables se sustenta en la revisión de la literatura empírica (véase Anexo 2), y la disponibilidad de información, recopilada de Sunass y de memorias anuales de EPS seleccionadas, indicadas en la bibliografía. Para garantizar la comparabilidad temporal y evitar distorsiones por inflación, los costos operativos fueron expresados en soles constantes del año 2021.

Las variables utilizadas para la estimación DEA se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8.
Variables del Modelo DEA

Variables inputs	**Variables outputs**:
- Número de trabajadores.	- Conexiones activas de agua
- Producción de agua (miles de m³)	- Volumen facturado (miles de m³)
- Costos operativos (miles de soles, año base 2021).	- Continuidad (horas)
- Red de agua potable (km).	- Presión (m.c.a)
	- Volumen aguas residuales tratadas (miles de m³)

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de literatura y datos Sunass (2015-2023).

4.2.2 Análisis exploratorio de las variables

Esta sección presenta el análisis exploratorio de las variables consideradas como insumos (*inputs*) y productos (*outputs*) del modelo DEA.

El estudio se basa en un panel balanceado de 47 EPS, con información anual correspondiente al periodo 2015–2023. Se excluyeron 3 EPS: EPS (EMAPA-Y S.R.L. y Aguas del Altiplano S.A.) por información incompleta en variables clave, y Sedapal S.A., dado que su escala operativa no es comparable con la del resto de EPS incluidas en el estudio.

a) Estadísticos descriptivos

Tabla 9.

Estadísticos de variables del modelo DEA (2015-2023), 47 EPS

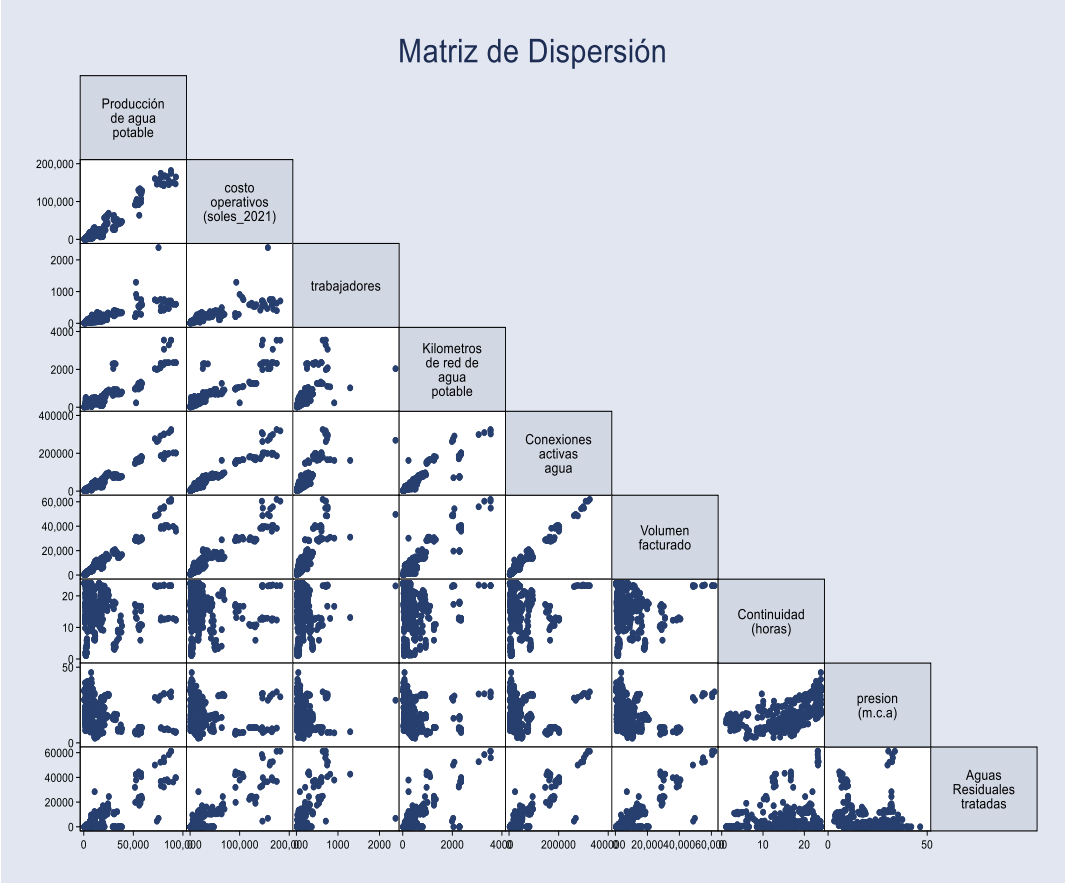
Variable	Medida	Obs.	Media	Std. dev	Min	Max
Producción agua potable	m^3 (miles)	423	15,600	18,818	486	92,969
Costos operativos Incluye depreciación	soles 2021 (miles)	423	24,954	36,909	541	182,041
Trabajadores	Número	423	161	200	11	2,387
Red de agua potable	km	423	437	585	18	3,549
Conexiones activas de agua potable	Número	423	43,940	56,578	2,939	325,513
Volumen facturado	m^3 (miles)	423	8,959	10,667	404	61,089
Continuidad	Horas/día	423	16	6	1	24
Presión	m.c.a.	423	19.0	9.0	3.0	46.5
Aguas residuales tratadas	m^3 (miles)	423	5,565	10,989	0.001	61,850

Nota. Se aplicó un ajuste metodológico a la variable *aguas residuales tratadas*: los valores cero fueron reemplazados por 0.001 (mil m³) para evitar distorsiones en el cálculo de la eficiencia por la presencia de ceros en un *output*, manteniendo la neutralidad del modelo.
Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de Sunass (2015-2023) y complementados con memorias anuales de EPS (ver bibliografía).

b) Matriz de dispersión

Se elaboró una matriz de dispersión entre las variables seleccionadas para el modelo DEA, con el fin de identificar patrones visuales, relaciones funcionales y posibles valores atípicos.

Figura 5.
Matriz de dispersión entre variables input y outputs



Fuente: Elaboración propia Datos obtenidos de Sunass (2015-2023), complementados con memorias anuales de EPS (ver bibliografía).

Como se muestra en la Figura 5, se identificó:

- **Producción versus. volumen facturado:** se identifica una tendencia lineal positiva, aunque con algunos puntos alejados del patrón, posiblemente EPS con niveles elevados de agua no contabilizada.

- **Costo versus trabajadores:** relación positiva fuerte, aunque con casos de relación inversa, esta particularidad podría atribuirse a diferencias en escalas remunerativas entre EPS o al uso intensivo de subcontratación.
- **Presión versus Continuidad:** relación dispersa, no se observa relación sistemática entre ambas variables.

c) Matriz de correlaciones

Asimismo, se realizó el análisis de correlaciones entre las variables seleccionadas, con el objetivo de identificar relaciones significativas entre ellas. Los resultados se presentan en la Tabla 10. Como se aprecia, se obtuvo:

- **Correlaciones altas (>0.90)**
  - Producción de agua y Volumen facturado: 0.9701.
  - Conexiones activas y Volumen facturado: 0.9854.
  - Costos operativos (soles 2021) y Conexiones activas: 0.9669.
  - Producción de agua y Costos operativos (soles 2021): 0.9620.
  - Costos operativos (soles 2021) y Volumen facturado: 09516.
  - Red de agua potable y Volumen facturado: 0.9184.
- **Correlaciones moderadas (0.70–0.90)**
  - Producción de agua y trabajadores: 0.8080.
  - Producción de agua potable y Red de agua potable: 0.8976.
  - Producción de agua potable y Aguas residuales tratadas: 0.8409.
  - Trabajadores y Costos operativos (soles 2021): 0.8171.
- **Correlaciones bajas o negativas**
  - Continuidad del servicio y Producción de agua potable: –0.0496.
  - Presión y Producción de agua potable: –0.1997.
  - Presión y continuidad del servicio: 0.6028.

Tabla 10.

Matriz de correlación

	Producción agua potable (miles m3)	Costos operativos (miles de soles 2021)	Trabajadores	Red de agua potable	Conexiones activas de agua potable	Volumen facturado (miles m3)	Continuidad (horas)	Presión (m.c.a.)	Volumen aguas residuales (miles m3)
Producción agua potable (miles m3)	1.0000								
Costos operativos (miles, soles 2021)	0.9620	1.0000							
Trabajadores	0.8080	0.8171	1.0000						
Red de agua potable (km)	0.8976	0.8716	0.7108	1.0000					
Conexiones activas de agua potable	0.9584	0.9669	0.8388	0.9051	1.0000				
Volumen facturado (miles de m3)	0.9701	0.9516	0.8337	0.9184	0.9854	1.0000			
Continuidad (horas)	-0.0496	-0.0550	-0.0488	-0.0517	-0.0284	-0.0155	1.0000		
Presión (m.c.a.)	-0.1997	-0.1405	-0.1147	-0.1203	-0.1096	-0.1355	0.6028	1.0000	
Aguas residuales tratadas (miles de m3)	0.8409	0.8689	0.6449	0.7704	0.8795	0.8591	-0.0023	-0.0807	1.0000

Fuente: Elaboración propia Datos obtenidos de Sunass (2015-2023), complementados con memorias anuales de EPS (ver bibliografía).

d) Criterios de elección para el modelo DEA

Luego del análisis exploratorio que muestra las relaciones entre las variables y de la revisión de las características conceptuales de las variables, se confirmó la selección de las variables (Tabla 8) para el modelo DEA. La elección se fundamenta en tres criterios:

- **Dimensión operativa**: Las variables reflejan aspectos clave de la prestación del servicio. Cabe precisar que, el caso de la "Continuidad del servicio", sobre la cual no existe un consenso en la literatura para clasificarla como *output* o variable ambiental. Para este estudio, se optó por considerarla un *output*, dado que representa un atributo de calidad que resulta directamente del esfuerzo operativo y de gestión de la EPS (Mocholi-Arce et al., 2022).

- **Correlación controlada**: Se evitó incluir variables con correlación >0.90 dentro del mismo bloque (sea input o output). Aunque la variable “volumen facturado” presenta una alta correlación con “conexiones activas”, su inclusión conjunta en el modelo DEA se considera pertinente. Estudios previos en el sector reconocen que el volumen facturado refleja la eficiencia comercial y la sostenibilidad financiera de las EPS, mientras que el número de conexiones activas representa el nivel de acceso al servicio. Por tanto, ambas variables aportan dimensiones complementarias del desempeño operativo, lo que justifica su uso simultáneo como outputs en el análisis de eficiencia.

- **Orientación a insumos**: Se optó por un modelo orientado a insumos, considerando que las EPS tienen mayor capacidad de gestión sobre sus recursos que sobre la demanda de los usuarios.

4.3 Segunda etapa: Regresiones Tobit y Simar & Wilson (2007)

En la segunda etapa, los índices de eficiencia obtenidos a partir del DEA se emplearón para las regresiones mediante Tobit y Bootstrap propuesto por Simar & Wilson (2007), lo que permitió corregir sesgos y obtener inferencias más robustas.

Se desarrollaron dos modelos para analizar el efecto de variables ambientales y regulatorias sobre la eficiencia:

- **Modelo 1: Variables ambientales.**

  Este modelo incorpora factores del contexto operativo de las EPS: macrorregión, tamaño, número de localidades atendidas, porcentaje de micromedición y densidad de conexiones.

- **Modelo 2: Variables regulatorias.**

  Este modelo incluye variables relacionadas con la regulación de tarifas, el Régimen de Apoyo Transitorio (RAT), y fiscalizaciones a partir de información oficial. Cabe mencionar que las variables regulatorias fueron construidas específicamente para este estudio.

4.3.1 Modelo 1: Influencia de variables ambientales sobre la Eficiencia Técnica

La selección de las variables candidatas para el Modelo 1 se sustenta en la revisión de literatura empírica (véase Anexo 3) y en los datos disponibles de Sunass, complementados con información extraída de memorias anuales de las

EPS citadas en la bibliografía. Esta última fuente fue especialmente relevante para la variable “número de trabajadores”, con el objetivo de construir un panel balanceado para las 47 EPS durante el periodo 2015–2023.

En la Tabla 11 se presenta las variables ambientales consideradas.

Tabla 11.
Variables ambientales

Variable	Tipo/Codificación	Tipo	Tratamiento
Tamaño	EPS Grande 1 = 1 EPS Grande 2 = 2 EPS Mediana = 3 EPS Pequeña =1	Variable categórica	Codificar como dummy (K-1)
N° localidades	Numérica		
Densidad	Numérica (conexiones/km red)		
Región	Regiones según código del 1 al 25. No incluye región Callao ni Lima Metropolitana	Variable categórica	Agrupamiento por macrorregiones: norte, centro, sur y oriente
Micromedición	Porcentaje (0-100%)		

Fuente: Elaboración propia en base a datos estadísticos de Sunass.

Para la elección de las variables ambientales, el presente estudio consideró los siguientes criterios:

- La variable “Micromedición” se clasificó como variable **ambiental**, por su alta dependencia de factores exógenos; entre ellos destacan: (a) programas estatales de instalación masiva de medidores, implementados inicialmente en ciudades principales bajo gestión de EPS grandes o medianas; (b) metas regulatorias impuestas por la Sunass en procesos tarifarios; y (c) rechazo comunitario en zonas periféricas, donde persiste la preferencia por acceso al servicio de agua potable sin medición individual del consumo. Estos factores limitan la autonomía estratégica de las EPS y configuran heterogeneidades estructurales que deben aislarse para garantizar una medición objetiva de la eficiencia técnica (Simar & Wilson, 2007).

a) Variables categóricas “región” y “Tamaño EPS”

Para incorporar adecuadamente las variables categóricas 'Región' (basada en el ubigeo del INEI) y 'Tamaño de EPS' en el modelo econométrico de segunda etapa, se transformaron en variables *dummy*, lo que permitió capturar con precisión los efectos diferenciados de cada categoría, evitando asumir una relación ordinal o lineal entre sus niveles.

Posteriormente, y con la finalidad de resolver los problemas de multicolinealidad (VIF > 5) al usar 24 regiones, se optó por agruparlas en cuatro macrorregiones: Centro, Norte, Oriente y Sur. Esta clasificación territorial ha sido utilizada en estudios técnicos del sector saneamiento, particularmente por Sunass en el análisis de áreas de prestación, lo que respalda su pertinencia para este tipo de evaluación comparativa. Asimismo, la variable macrorregión se codificó como dummy, permitiendo medir efectos fijos por categoría sin asumir una relación ordinal entre ellas.

La Tabla 12 detalla la cantidad de EPS en cada macrorregión, mientras que el Anexo 4 presenta el listado completo de EPS por macrorregión.

Tabla 12.
EPS según macrorregión

Macrorregión	EPS por macrorregión	Porcentaje
Centro	17	36.2%
Norte	5	34.0%
Sur	16	14.9%
Oriente	7	10.6%
Total	47	**100%**

Fuente: Elaboración propia, basada en la clasificación de macrorregiones utilizada por Sunass.

b) Verificación de multicolinealidad

Como se muestra en la Tabla 13, los valores del Factor de Inflación de la Varianza (VIF) se mantienen por debajo del umbral crítico de 10, lo que indica una colinealidad aceptable entre las variables explicativas. Aunque las dummies de tamaño institucional presentan VIF relativamente más altos (entre 4.36 y 5.55), estos no afectan la estabilidad del modelo ni la significancia de los coeficientes estimados. La especificación final fue validada con errores robustos para controlar posibles sesgos por heterocedasticidad.

Tabla 13.
Factor de Inflación de la Varianza (VIF) – Modelo 1

Variable	VIF	1/VIF
Macrorregión 2: Norte	1.87	0.533777
Macrorregión 3: Oriente	1.26	0.791071
Macrorregión 4: Sur	1.58	0.633192
tamaño_dum_5 (EPS Pequeña)	5.55	0.180064
tamaño_dum_4 (EPS Mediana)	5.20	0.192481
tamaño_dum_3 (EPS Grande 2)	4.36	0.229495
Localidades	3.20	0.312224
Micromedición	1.33	0.749567
Densidad	1.16	0.864556
Mean VIF	**2.84**	

c) Tratamiento de la categoría de referencia en variables dummy

Para evitar la multicolinealidad perfecta (y la consecuente singularidad de la matriz X'X) en la segunda etapa del modelo, se excluyó una categoría de referencia de cada conjunto de variables *dummy*. Este procedimiento, ampliamente reconocido en la modelación con regresores categóricos, permite que los coeficientes estimados se interpreten como desviaciones respecto a la categoría base omitida, facilitando la identificación de efectos diferenciales entre grupos (Wooldridge, J. M., 2019).

Para el caso de la variable Macrorregión, se tomó como referencia la "Macrorregión Centro" por concentrar el mayor número de EPS (36.2%) en el periodo evaluado. En tanto, para la variable Tamaño de EPS se seleccionó como categoría de referencia las EPS Grande 1, correspondientes a las EPS con mayor capacidad operativa.

4.3.2 Modelo 2: Influencia de variables regulatorias sobre la Eficiencia Técnica

Como se señaló en el capítulo 3, estudios recientes sobre eficiencia en el sector de agua potable y saneamiento incorporan el análisis DEA en dos etapas para examinar la influencia del contexto regulatorio. Para el caso peruano, considerando su diseño regulatorio, se identificaron tres mecanismos clave: (1) la regulación tarifaria (formulas tarifarias por periodos regulatorios), que incluye fases de transición entre la conclusión de un periodo y el inicio del siguiente; (2) la intervención mediante el Régimen de Apoyo Transitorio (RAT), activado ante situaciones que afectan la sostenibilidad del servicio; y (3) el proceso de fiscalización orientado a verificar el cumplimiento del marco normativo. Estos elementos constituyen dimensiones relevantes a través de las cuales el marco regulatorio podría influir en la eficiencia de las EPS.

La exclusión de variables contextuales —como región, micromedición, densidad y tamaño— se sustenta en criterios de especificación metodológica, orientados a prevenir la dilución de los efectos regulatorios, los cuales constituyen el eje central de la presente investigación

Con respecto a las variables, debido a que no se dispone de datos estandarizados sobre determinados aspectos del entorno regulatorio, las variables empleadas en este estudio fueron construidas a partir de un análisis

detallado de resoluciones oficiales publicadas por Sunass y OTASS. Esta aproximación permitió identificar patrones de intervención que no están sistematizados en fuentes estadísticas, pero que resultan relevantes para caracterizar el contexto en el que operan las EPS.

La Tabla 14, resume el conjunto de variables candidatas para la estimación del modelo 2.

Tabla 14.

Variables regulatorias candidatas del Modelo 2

Variable	Definición	Tipo
Régimen de apoyo transitorio (RAT)	=1 si la EPS se encontraba bajo Régimen de Apoyo Transitorio en el año t	Dummy
Tiempo RAT	Meses acumulados bajo intervención del RAT hasta el año 2023	Numérica
Fiscalizaciones	Número de fiscalizaciones en el año t	Numérica
Fiscalizaciones acumuladas	Número total de fiscalizaciones acumuladas hasta el año 2023	Numérica
Fórmula tarifaria	=1 si la EPS contaba con fórmula tarifaria aprobada en el año t	Dummy
Número de Formulas Tarifarias	Cantidad total de fórmulas tarifarias distintas aprobadas hasta el año 2023	Numérica
Tiempo con regulación tarifaria	Meses acumulados desde la primera fórmula tarifaria aprobada hasta el año 2023	Numérica
Transición tarifaria	=1 si la EPS se encontraba en periodo de transición entre fórmulas tarifarias en el año t	Dummy
Duración transición	Meses de duración del periodo de transición entre fórmulas tarifarias	Numérica

Fuente: Elaboración propia en base a Sunass (datos de fiscalizaciones proporcionados mediante solicitud de acceso a la información) y OTASS.

a) Verificación de multicolinealidad

Del análisis del VIF (ver Tabla 15) y de las correlaciones entre las variables ambientales candidatas, se observó que las variables: fiscalizaciones acumuladas, transición tarifaria, duración de la transición,

tiempo con regulación tarifaria y número de fórmulas tarifarias muestran valores de VIF altos (mayor a 4), lo que sugiere que están altamente correlacionados con otras variables del modelo. Mientras que, el resto de variables presentan un VIF menor a 4, lo que sugiere una multicolinealidad moderada.

Tabla 15.

Factor de Inflación de la Varianza (VIF) - Modelo 2

Variable	VIF	1/VIF
Fiscalizaciones acumuladas	4.77	0.209503
Transición tarifaria	4.45	0.224935
Duración transición	4.24	0.235610
Tiempo con regulación tarifaria	4.23	0.236350
Número de fórmula tarifaria	4.00	0.249833
Tiempo RAT	3.44	0.290350
Fiscalizaciones	3.41	0.292967
RAT	3.39	0.295368
EPS Pequeña	3.27	0.306214
EPS Mediana	3.26	0.306848
EPS Grande2	3.81	0.355278
Mean VIF	3.75	

Para superar la multicolinealidad, se excluyó variables redundantes en el modelo y se conservó únicamente aquellas que aportan información diferenciada y relevante para el análisis. Las variables seleccionadas fueron:

- **Fiscalizaciones:** número total de fiscalizaciones como indicador de supervisión regulatoria.
- **Transición entre Fórmulas Tarifarias**: refleja el tiempo, en meses, que transcurre entre el vencimiento de una fórmula tarifaria y la aprobación de la siguiente dentro de cada periodo regulatorio.

- **Tiempo bajo RAT:** mide el tiempo de la EPS bajo RAT puede influir en su desempeño operativo y financiero.
- **Tiempo con regulación tarifaria:** representa el tiempo, en meses, que la EPS ha operado bajo fórmulas tarifarias aprobadas por la Sunass. Cabe destacar que dichas fórmulas fueron aprobadas de manera progresiva para cada EPS, a lo largo de las últimas dos décadas.
- **Tamaño EPS (dummy):** se refiere a la escala de operación de la EPS, según número de conexiones.

Como se muestra en la Tabla 16, la selección final de variables permitió superar el problema de multicolinealidad en el Modelo 2. Los valores del Factor de Inflación de la Varianza (VIF) se mantienen por debajo del umbral crítico de 5, con un VIF promedio de 1.88, lo que indica una baja colinealidad entre los regresores incluidos.

Tabla 16.

Factor de Inflación de la Varianza (VIF) - Modelo 2

Variable	VIF	1/VIF
EPS Pequeña	2.88	0.347730
EPS Mediana	2.85	0.350872
EPS Grande 2	2.52	0.396535
Fiscalización	1.46	0.682658
Tiempo con regulación tarifaria	1.38	0.723429
Tiempo bajo RAT	1.05	0.949169
Duración transición entre Fórmulas Tarifarias	1.02	0.977564
Mean VIF	1.88	

5. Resultados y análisis de información

5.1 Primera Etapa: Resultados del modelo DEA

a) Eficiencia técnica global

El análisis DEA revela que, aunque el promedio de eficiencia técnica VRS es alto (0.883), esto no implica un buen desempeño operativo, sino que las EPS no podrían producir más con los recursos actuales. La mediana (0.909) sugiere que muchas operan cerca de su frontera técnica, pero sin garantía de calidad o cobertura óptima. El valor mínimo (0.559) evidencia brechas significativas, confirmando que la mayoría de EPS en Perú son técnicamente ineficientes.

Tabla 17.

Estadísticos descriptivos de la eficiencia técnica (te_vrs)

Estadístico	Valor
Número de casos	423
Media	0.883
Desviación estándar	0.113
Mínimo	0.559
Percentil 25 (p25)	0.809
Mediana (p50)	0.909
Percentil 75 (p75)	0.997
Máximo	1.000

b) Distribución de la eficiencia

El histograma (Figura 6) muestra una concentración de eficiencia técnica VRS en el rango alto (0.90 y 1.00), pero la cola izquierda con valores por debajo de 0.80, evidencia ineficiencia técnica de un grupo de EPS. Si bien, el modelo DEA ubica a muchas EPS cerca de la frontera, ello no implica necesariamente que funcionen bien ni que cumplan con estándares de calidad o cobertura. La Figura 7 muestra la distribución de los puntajes de eficiencia por año. Las

medianas se ubican de forma consistente en valores cercanos a 9, lo que indica estabilidad en los resultados durante el periodo analizado. Se observa cierta dispersión en algunos años, con presencia de valores atípicos por debajo del rango central, especialmente en 2018.

Figura 6.

Histograma de eficiencia, panel 2015-2023

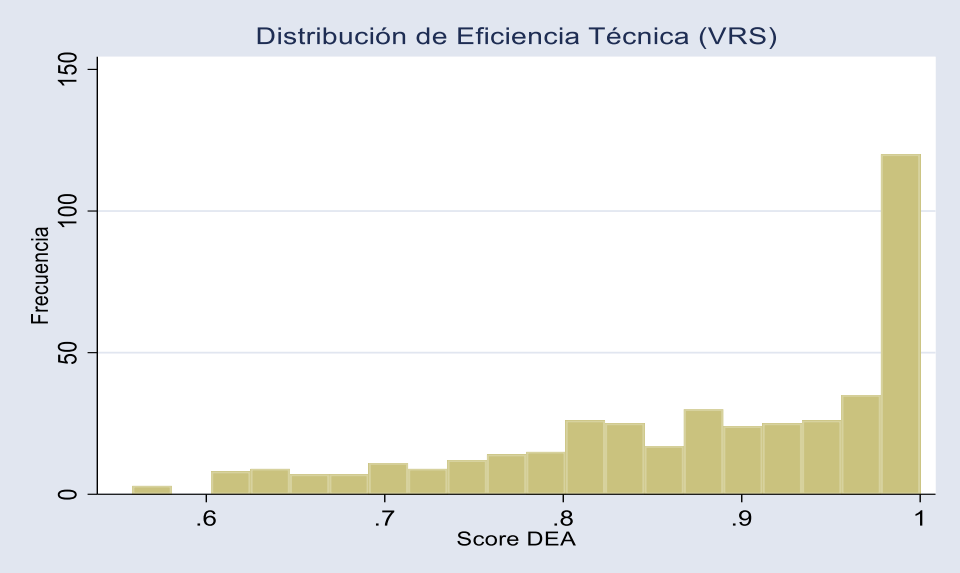
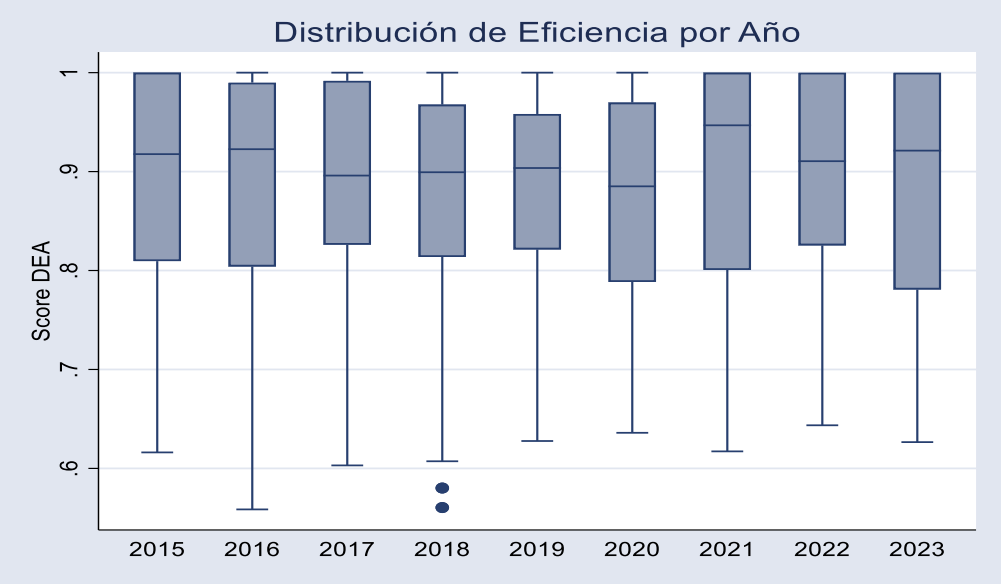


Figura 7.

Histograma de eficiencia promedio anual



c) Eficiencia por tamaño de EPS

El análisis según el tamaño de las EPS revela que:

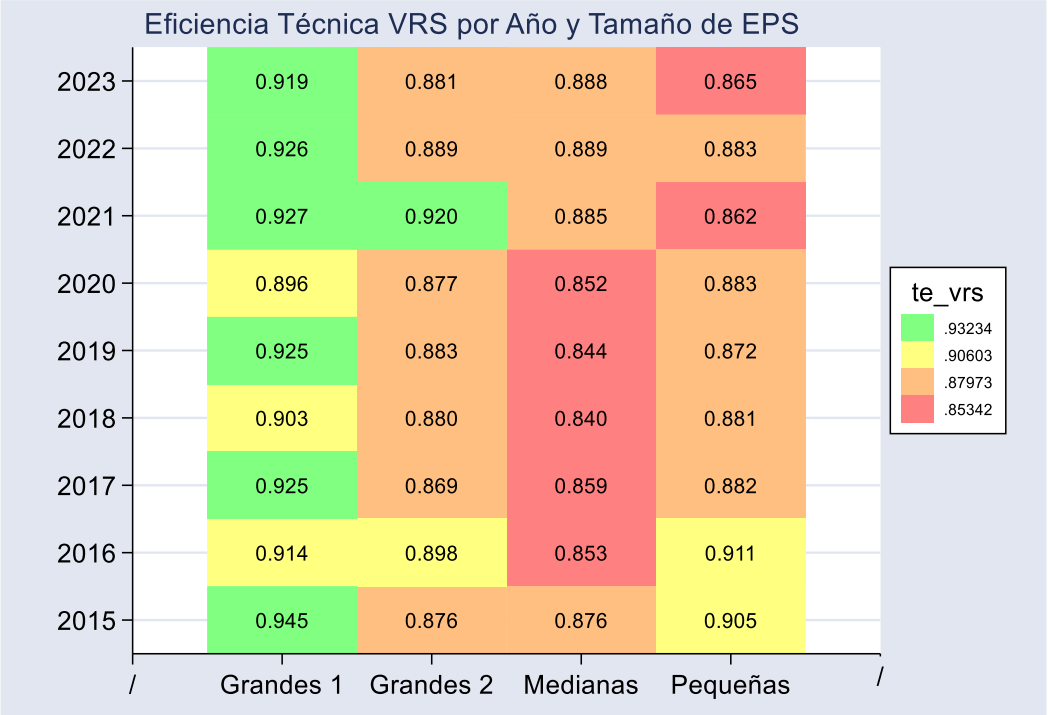
- **EPS Grandes 1 (G1)**: Concentradas en las principales ciudades del país, presentaron la mayor eficiencia promedio (0.920) durante el periodo evaluado. La caída observada en 2020 se asocia a la contracción de la demanda comercial provocada por las restricciones sanitarias durante la pandemia.

- **EPS Grandes 2 (G2)**: Exhibieron un comportamiento estable, con una eficiencia promedio de 0.886. Se registró un incremento temporal en 2021, alcanzando 0.920.

- **EPS Medianas (M)**: En 2021, mostraron un aumento del 3.5 % respecto a 2020 (0.852). Aunque en 2023 se observó una leve disminución, la eficiencia se mantuvo por encima del nivel registrado en 2020.

- **EPS Pequeñas (P)**: Presentaron mayor volatilidad (rango <0.86–0.88), caracterizadas por operar en mercados locales menos dinámicos. Incluso durante la pandemia, no se observaron variaciones significativas.

Figura 8.
Eficiencia técnica VRS por año y tamaño de EPS



d) Ranking de eficiencia de EPS

El análisis de las EPS eficiencia técnica (DEA-VRS = 1.00) para el periodo evaluado 2015 y 2023 (Anexo 5) revela que, si bien todas las categorías (G1, G2, M, P) logran puntajes perfectos en distintos años, las EPS pequeñas (P) y medianas (M) destacan por su recurrencia. Empresas como *EMSAPA YAULI LA OROYA* (P), EPSEL (G1) y EPS NOR PUNO S.A. (P) aparecen en el Top 5 en forma recurrente, como se resume en la Tabla 18.

Por otra parte, el análisis de las EPS con menores puntajes de eficiencia (categoría "Baja") revela patrones de desempeño recurrentes, la EPS BARRANCA S.A. (M), SEDALORETO (G2) y EMAPACOP S.A. aparecen sistemáticamente entre las últimas posiciones, con eficiencias que oscilan entre 0.56 y 0.71 a lo largo del periodo de análisis (véase Tabla 19).

Estos resultados podrían estar influenciados no solo por el desempeño interno de las EPS sino por factores ambientales como geografía o regulación como se abordará en los siguientes puntos.

Tabla 18.
EPS más frecuentes en Top 5 (2015–2023)

EPS	Tamaño	Años en Top 5
EMSAPA YAULI LA OROYA	P	9
EPSEL S.A.	G1	7
EPS NOR PUNO S.A.	P	7

Tabla 19.
EPS con mayor recurrencia en categoría "Baja" (2015–2023)

EPS	Tamaño	Top 5 de ineficiencia (años)	Rango de eficiencia
SEDALORETO	G2	9	0.65–0.69
EPS BARRANCA S.A.	M	8	0.56–0.71
EMAPACOP S.A.	M	7	0.56–0.64

5.2 DEA segunda etapa: Resultados Modelo 1 - Variables ambientales

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la segunda etapa del análisis, mediante la aplicación de regresiones Tobit y del enfoque propuesto por Simar y Wilson (2007).

5.2.1 Modelo 1: Resultados mediante regresión Tobit

Los resultados del Modelo 1, se presentan en la Tabla 20. De acuerdo con los estadísticos del Modelo 1, el valor negativo del Pseudo R^2 sugiere una capacidad limitada para explicar en su totalidad los factores que impactan sobre la eficiencia de las EPS, posiblemente por la omisión de variables relevantes. No obstante, ello no invalida los resultados obtenidos, ya que el modelo sí logró identificar variables estadísticamente significativas que se asocian con la eficiencia de las EPS.

Tabla 20.

Estimación Modelo 1, mediante TOBIT

Variable	Coeficiente	Error estándar	p-valor	Intervalo 95%	
Variable Macrorregión (referencia: Macrorregión Centro)					
Macrorregión: NORTE	-.0129206	.0241764	0.593	-.0604444	.0346032
Macrorregión: ORIENTE	-.1127411	.0158811	0.000	-.1439587	-.0815235
Macrorregión: SUR	.0681012	.0160732	0.000	.036506	.0996965
Variable Tamaño (referencia: EPS Grande 1)					
EPS Grande 2	.0204151	.0215335	0.344	-.0219136	.0627437
EPS Medianas	-.0291797	.0213622	0.173	-.0711716	.0128123
EPS Pequeñas	.0358548	.0247319	0.148	-.012761	.0844706
Otras variables ambientales					
Localidades	.000249	.0013804	0.857	-.0024644	.0029625
Micromedición	.0000851	.0002434	0.727	-.0003934	.0005636
Densidad	.0019661	.0001974	0.000	.001578	.0023542
Constante	.676221	.036297	0.000	.6048715	.7475704
Estadísticos del Modelo					
Log pseudolikelihood	174.6478				
Pseudo R^2	-1.3457				
Varianza del error					
Número de observaciones	423				

El análisis de significancia estadística (valor p) permitió clasificar las variables según ejerzan una influencia positiva, negativa o nula sobre la eficiencia, como se explica a continuación:

- **Macrorregión Oriente:** presenta una asociación negativa significativa con la eficiencia técnica ($p < 0.001$), lo que sugiere condiciones estructurales menos favorables respecto a la mcroregión Centro (referencia).
- **Macrorregión Sur:** efecto positivo significativo ($p = 0.00$) en la eficiencia técnica.

- **EPS pequeñas:** la relación estimada es positiva pero no significativa (p = 0.059), lo que indica una posible tendencia, aunque insuficiente para afirmar un efecto con confianza estadística.
- **Densidad** (conexiones/kilómetros red de agua): Tiene un efecto positivo altamente significativo (p < 0.001). Este resultado proporciona evidencia empírica sobre la importancia de la densidad de conexiones: a mayor número de estas por kilómetro de red, las empresas operadoras (EPS) logran reducir sus costos medios y mejorar su eficiencia técnica. Dicho patrón sugiere el efecto positivo de economías de densidad en la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento.
- **Número de localidades y micromedición:** No mostraron significancia estadística en el modelo

a) Análisis de los efectos marginales del Modelo 1

Luego, se estimó los efectos marginales (dy/dx), los cuales miden el cambio promedio en la eficiencia técnica esperada en puntos porcentuales, ante un aumento de una unidad en variables continuas o al comparar categorías en variables discretas, como la región de pertenencia. En este último caso, el efecto refleja la diferencia promedio respecto a una categoría de referencia, manteniendo constantes las demás variables. Los resultados se detallan en la Tabla 20.

Tabla 21.

Efectos marginales (modelo 1)

Variable dependiente: te_vrs)

Variable	dy/dx	Desviación estándar	p-valor	Intervalo 95%	
Variable Macrorregión (referencia: Macrorregión Centro)					
Macrorregión: NORTE	-.0077246	.0144736	0.594	-.0360923	.0206431
Macrorregión: ORIENTE	-.067402	.0094968	0.000	-.0860154	-.0487886
Macrorregión: SUR	.0407142	.0096916	0.000	.0217191	.0597093
Variable Tamaño (referencia: EPS Grande 1)					
EPS Grande 2	.0122051	.0128506	0.342	-.0129816	.0373919
EPS Medianas	-.017445	.012858	0.175	-.0426461	.0077561
EPS Pequeñas	.0214357	.0147497	0.146	-.0074731	.0503445
Otras variables ambientales					
Localidades	.0001489	.0008251	0.857	-.0014683	.0017661
Micromedición	.0000509	.0001457	0.727	-.0002346	.0003364
Densidad	.0011754	.0001249	0.000	.0009306	.0014202

De la estimación, se obtuvo que las variables significativas (p-valor < 0.05) son las siguientes:

- **Macroregión Oriente vs. Centro:**

  Las EPS que se encuentran en la macrorregión Oriente se asocia una disminución **6.74 puntos porcentuales en su eficiencia técnica esperada, en comparación con las** EPS del Centro (p-value < 0.001). Esto sugiere que factores regionales como la geografía, el clima o la gestión local en la región Oriente están asociados con una menor eficiencia.

- **Macroregión Sur vs. Centro:**

  Las EPS ubicadas en la macrorregión Sur se estima una eficiencia técnica esperada **4.07 puntos porcentuales mayor** que para las EPS del Centro (p-value < 0.001). Esto indica que la región Sur puede tener características

o contextos operativos que favorecen la eficiencia en la prestación del servicio de agua potable y saneamiento.

- **EPS Pequeñas vs. EPS Grande 2:**

  Tamaño de EPS no mostró efectos marginales estadísticamente significativos.

- **Densidad (Conexiones por km de red):**

  Por cada unidad adicional en la densidad de conexiones (una conexión más por kilómetro de red), la eficiencia técnica esperada aumenta **0.12 puntos porcentuales** (p-value < 0.001). Esto respalda la teoría de que una mayor densidad de conexiones en la red reduce costos fijos por conexión y mejora las economías de escala.

b) Validación del Modelo 1: análisis de residuales

Los residuales del modelo Tobit fueron evaluados para verificar el supuesto de normalidad. La prueba de Shapiro-Wilk ($W = 0.885$, $p < 0.001$) rechaza la hipótesis nula de normalidad, lo cual es esperable en modelos censurados debido a la acumulación de observaciones en el punto de censura (eficiencia = 1). No obstante, los gráficos de histograma y Q-Q (presentados en el Anexo 6) muestran una distribución aproximadamente normal en los residuales, con desviaciones menores atribuibles al mecanismo de censura. Esto sugiere que el modelo es adecuado para la inferencia, ya que la falta de normalidad formal no compromete la validez de los resultados.

5.2.2 Modelo 1: Resultados mediante regresión Simar & Wilson (2007)

Con el propósito de dar mayor solidez a los resultados obtenidos del modelo Tobit, se emplearon las mismas variables ambientales para realizar una regresión bajo el enfoque de doble bootstrap propuesto por Simar & Wilson (2007) con 2,000 réplicas.

Como se muestra en la Tabla 22, el modelo presenta una significancia global (Wald $\chi^2 = 100.41$, $p < 0.001$) lo que confirma su capacidad explicativa y valida de los resultados respecto al enfoque Tobit anterior.

Tabla 22.

Estimación Modelo 1, mediante SIMAR-WILSON

Variable	Coeficiente	Error estándar	p-valor	[95% Conf. Interval]	
Variable Macrorregión (referencia: Macrorregión Centro)					
Macrorregión: NORTE	-.032955	.0340194	0.333	-.0957389	.0358538
Macrorregión: ORIENTE	-.1210415	.0206751	0.000	-.1641134	-.0796295
Macrorregión: SUR	.0601702	.0244431	0.014	.0144213	.1118962
Variable Tamaño (referencia: EPS Grande 1)					
EPS Grande 2	-.043367	.0430211	0.313	-.1331779	.0377965
EPS Medianas	-.1256107	.0477505	0.009	-.22777	-.0383105
EPS Pequeñas	-.0390571	.0510993	0.445	-.1420566	.0554413
Otras variables ambientales					
Localidades	-.0039079	.0025868	0.131	-.0092712	.0010375
Micromedición	.0003079	.0003273	0.347	-.000359	.0009348
Densidad	.0019317	.0003079	0.000	.0013216	.0025498
Constante	.7638845	.0639383	0.000	.6419669	.8892223

Estadísticos del modelo:

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1. Errores estándar robustos mediante bootstrap con 2,000 réplicas. Estadísticos del modelo: Wald $\chi^2(9) = 100.41$ ($p = 0.000$), $\sigma = 0.108$. Muestra: 321 DMUs ineficientes (102 DMUs eficientes excluidas del análisis).

Los resultados mediante la regresión de Simar & Wilson (2007) muestran:

- **Macrorregión Oriente vs. Centro:**

  Las EPS ubicadas en la macrorregión Oriente muestran una eficiencia técnica esperada **12.10 puntos porcentuales menor** que las EPS del Centro (p-value < 0.001). Este efecto negativo y significativo confirman que factores regionales como la geografía, el clima o la gestión local en la región Oriente están asociados con una menor eficiencia.

- **Macrorregión Sur vs. Centro:**

  Las EPS ubicadas en la macrorregión Sur tienen una eficiencia técnica esperada **6.02 puntos porcentuales mayor** que las EPS del Centro (p-value = 0.014). Esto indica que la región Sur puede tener características que favorecen la eficiencia, como mejores prácticas de gestión o condiciones territoriales más favorables.

- **Densidad (Conexiones por km de red de agua):**

  La variable densidad tiene un efecto positivo en la eficiencia, por cada unidad adicional de conexiones por kilómetro de red, la eficiencia técnica esperada aumenta **0.19 puntos porcentuales** (p-value < 0.001). En ese sentido, se confirma la presencia de economías de densidad, asociado a la reducción de costos medios.

- **EPS Medianas**

  Las EPS Medianas muestran un impacto negativo y estadísticamente significativo sobre la eficiencia técnica respecto a las EPS Grande 1. El efecto estimado (-0.126 pp) sugiere que el menor tamaño podría limitar economías de escala.

5.2.3 Modelo 1: Comparación de resultados Tobit versus Simar & Wilson (2007)

Los hallazgos obtenidos son robustos, ambos modelos llegan a conclusiones similares en términos de dirección y significancia de las variables.

Como se muestra la Tabla 23, la mayor magnitud de los efectos en el modelo de Simar & Wilson (2007) responde a su enfoque centrado en las unidades ineficientes, mientras que el modelo Tobit estima efectos promedio para toda la distribución de eficiencia (incluyendo EPS eficientes).

Tabla 23.
Modelo 1: comparación de efectos Tobit versus Simar & Wilson (2007)

Variable	Modelo Tobit (N=423)	Simar & Wilson (N=321)	Diferencia
Macrorregión: ORIENTE	-6.74 pp***	-12.10 pp***	+5.36 pp
Macrorregión: SUR	+4.07 pp***	+6.02 pp**	+1.95 pp
Densidad (conx/red)	+0.12 pp***	+0.19 pp***	+0.07 pp
EPS Medianas	No significativo	-12.58 pp**	-

Nota: *** p<0.01, ** p<0.05. Coeficientes en puntos porcentuales (pp)
Los Coeficientes representan cambio en puntos porcentuales (pp) respecto a: Macroregión Centro (referencia) y EPS Grande 1 (referencia). Efectos controlados por todas las variables del modelo

Para el presente estudio, los coeficientes mayores obtenidos mediante el procedimiento de Simar & Wilson (2007) indican que, en comparación con las EPS del Centro (categoría de referencia para macrorregión) y las EPS clasificadas como Grande 1 (referencia para tamaño), el impacto de ciertos factores sobre la reducción de la ineficiencia es más pronunciado entre las EPS que no alcanzan la frontera óptima. Específicamente:

- Las EPS de la macrorregión Oriente muestran 12.10 puntos porcentuales (p.p) más de ineficiencia respecto a la macrorregión Centro, frente a 6.74 pp en el modelo Tobit.
- Las EPS de la macrorregión Sur presentan 6.02 pp menos de ineficiencia respecto a la macrorregión Centro, frente a 4.07 pp en Tobit.
- Cada unidad adicional en la densidad de conexiones por kilómetro de red de agua reduce la ineficiencia en 0.19 pp, frente a 0.12 pp en Tobit.
- La EPS Medianas muestran 12.58 pp menos eficiencia que las EPS Grande 1. En cambio, según Tobit dicha variable no resulta significativa.

5.3 DEA segunda etapa: Resultados Modelo 2 - variables regulatorias

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la segunda etapa del análisis, mediante la aplicación de regresiones Tobit y del enfoque propuesto por Simar y Wilson (2007).

5.3.1 Modelo 2: Resultados mediante regresión Tobit

Como se muestra en la Tabla 24, el “Modelo 2” mediante una regresión Tobit presentó un Pseudo R^2 negativo, resultado que, en contextos de censura no resulta inusual. El modelo destaca por intercepto elevado (0.916), la varianza del error estable (0.0174). no obstante, el aporte del modelo es su capacidad para identificar variables regulatorias específicas que inciden significativamente en la eficiencia.

Tabla 24.
Estimación Modelo 2, mediante Tobit

Variable	Coeficiente	Error estándar	p-valor	Intervalo 95%	
Variable Tamaño (referencia: EPS Grande 1)					
EPS Grande 2	-.0373354	.0230568	0.106	-.0826577	.0079869
EPS Medianas	-.0393055	.0216601	0.070	-.0818824	.0032713
EPS Pequeñas	-.0294852	.0239142	0.218	-.0764929	.0175225
Tiempo bajo RAT	-.0019782	.000287	0.000	-.0025423	-.001414
Fiscalizaciones	-.0000409	.0015981	0.980	-.0031823	.0031005
Tiempo con regulación	.0003041	.0001849	0.101	-.0000594	.0006676
Duración transición FT	-.0111134	.0089313	0.214	-.0286694	.0064427
Constante	.9155819	.0321654	0.000	.8523549	.978809
Estadísticos del Modelo					
Log pseudolikelihood	77.935761				
Pseudo R^2	-0.3222				
Varianza del error	.017402				
Número de observaciones	423				

De este modo, el “Modelo 2” evidencia que, dentro del conjunto de variables analizadas, únicamente la variable “Tiempo bajo RAT” tiene un impacto negativo significativo ($p< 0.001$), el resto de las variables no muestra efectos estadísticamente significativos.

a) Análisis de los efectos marginales del Modelo 2

En la tabla 25 se presenta los resultados de la estimación de efectos marginales del modelo 2.

Tabla 25.
Efectos marginales (modelo 2)

Variable	dy/dx	Desviación estándar	p-valor	Intervalo 95%	
Variable Tamaño (referencia: EPS Grande 1)					
EPS Grande 2	-.0207115	.0128133	0.106	-.0458251	.0044021
EPS Mediana	-.0218044	.0120508	0.070	-.0454235	.0018147
EPS Pequeñas	-.0163567	.0133301	0.220	-.0424832	.0097699
Variables relacionadas con la regulación					
Tiempo bajo RAT	-.0010974	.0001595	0.000	-.00141	-.0007848
Fiscalizaciones	-.0000227	.0008867	0.980	-.0017606	.0017152
Tiempo con regulación tarifaria	.0001687	.0001032	0.102	-.0000337	.000371
Duración transición FT	-.0061651	.0049861	0.216	-.0159375	.0036074

Como se observa en la Tabla 25, solo la variable tiempo bajo RAT tiene influencia sobre la eficiencia de la EPS, siendo que por cada año en el RAT, las EPS reducen su eficiencia en **0.11 puntos porcentuales**, efecto altamente significativo ($p < 0.001$). No obstante, es importante considerar que el RAT está focalizado en las EPS más ineficientes. Por otra parte, el modelo captura únicamente el tiempo (en meses) que una EPS permanece bajo RAT, sin incorporar el análisis de transferencias financieras ni el posible efecto rezagado de los planes de reflotamiento; los cuales en sus etapas iniciales estarían más orientados a garantizar la sostenibilidad del servicio, antes que a minimizar los costos. Aun así, este tipo de análisis temporal resulta relevante, ya que se espera que la intervención tenga una duración determinada, orientada a la eficiencia en la prestación del servicio, lo cual puede requerir varios años.

b) Validación del Modelo 2: análisis de residuales

Los residuales estandarizados del modelo fueron evaluados para verificar el supuesto de normalidad. La prueba de Shapiro-Wilk ($W = 0.947$, $p < 0.001$) rechaza la hipótesis nula de normalidad, lo cual es frecuente en modelos con datos limitados (censurados o truncados) debido a la acumulación de observaciones en los límites de la variable dependiente (ver Anexo 7). No obstante, el valor de W (0.947) se encuentra cercano a 1, y en muestras grandes como la presente (n = 423), la inferencia suele ser robusta ante desviaciones menores de la normalidad. Los gráficos de diagnóstico (histograma y Q-Q plot) muestran una distribución aproximadamente simétrica, con desviaciones leves atribuibles al mecanismo de censura. Por lo tanto, se considera que el incumplimiento formal de normalidad no invalida los resultados del modelo en este contexto.

5.3.2 Modelo 2: Resultados mediante regresión Simar & Wilson (2007)

En esta sección, se presentan los resultados del Modelo 2, correspondientes al análisis de segunda etapa de Simar & Wilson (2007), método que fortalece la validez de los resultados, al corregir los problemas de dependencia y error de medición de los scores DEA, enfocándose específicamente en los determinantes de la ineficiencia entre las EPS que no alcanzan la frontera óptima

Como se muestra en la Tabla 26, el modelo en su conjunto resulta altamente significativo (Wald $\chi^2(9) = 43.06$ y un valor $p = 0.000$), lo que confirma la solidez de los resultados. Esto indica, que las variables explicativas consideradas tienen una capacidad conjunta estadísticamente significativa para explicar las ineficiencias técnicas estimadas.

Tabla 26.
Estimación Modelo 2, mediante SIMAR-WILSON

Variable	Coeficiente	Error estándar	p-valor	[95% Conf. Interval]	
Variable Tamaño (referencia: EPS Grande 1)					
EPS Grande 2	-.0850003	.0405052	0.036	-.1693065	-.0086746
EPS Mediana	-.1019935	.041357	0.014	-.1921122	-.0279763
EPS Pequeñas	-.1061564	.0427325	0.013	-.1962709	-.0260605
Variables relacionadas con la regulación					
Tiempo bajo RAT	-.0018904	.0003885	0.000	-.0026462	-.0011078
fiscalizaciones	-.0054717	.0016768	0.001	-.0085348	-.0020911
Tiempo con regulación tarifaria	.000622	.0002661	0.019	.0001202	.0011277
Duración transición FT	.0373448	.0103417	0.000	-.057114	-.016027

Estadísticos del modelo:
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1. Errores estándar robustos mediante bootstrap con 2,000 réplicas. Estadísticos del modelo: Wald $\chi^2(9) = 43.06$ ($p = 0.000$), $\sigma = 0.1278$. Muestra: 321 DMUs ineficientes (102 DMUs eficientes excluidas del análisis).

Los hallazgos Significativos (p-valor < 0.05) son los siguientes:

- **Tiempo bajo RAT (meses de una EPS bajo RAT)**

  El resultado sugiere que cada año adicional bajo RAT se asocia con una disminución de aproximadamente 0.189 puntos porcentuales en la eficiencia técnica de la EPS, con alta significancia estadística (p = 0.000). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, esta variable solo captura el tiempo de permanencia de la EPS en el RAT.

- **Fiscalizaciones (número de fiscalizaciones):**

  El modelo revela una relación negativa entre el número de fiscalizaciones y la eficiencia técnica de las EPS, con un coeficiente de -0.547 puntos porcentuales con una (p-valor = 0.002). Esto podría explicarse porque las fiscalizaciones, no tienen como objetivo incentivar la reducción de insumos; sino la verificación del cumplimiento normativo relacionados con la aplicación de tarifas y calidad de

prestación del servicio, lo cual podría conllevar a costos adicionales a las EPS. Asimismo, estas fiscalizaciones podrían causar rigideces en la gestión, dado que las EPS no pueden realizar ajustes operativos o estratégicos sin la aprobación normativa correspondiente, limitando su capacidad para optimizar procesos. Es importante mencionar que esta variable no captura el efecto de medidas posteriores, como sanciones o acciones correctivas, las cuales podrían revertir o mitigar este impacto negativo.

- **Tiempo con regulación tarifaria**

  El resultado indica que, por cada año adicional con fórmulas tarifarias, la eficiencia aumenta en **0.062 puntos porcentuales**. Este efecto positivo, aunque pequeño, sugiere que la estabilidad o experiencia con fórmulas tarifarias puede contribuir con la eficiencia. Esto respalda la importancia de la consistencia en las políticas tarifarias.

- **Duración transición entre fórmulas tarifaria:**

  Por cada año adicional de tiempo de transición, la eficiencia disminuye en **3.37 puntos porcentuales**, resultado altamente significativo ($p < 0.001$). El resultado es consistente con la lógica regulatoria, cuanto mayor es el tiempo de la transición entre fórmulas tarifarias, mayores son los costos de adaptación para la EPS, debido al desfase con la fórmula del periodo anterior. Además, los datos muestran que la duración de estas transiciones ha disminuido en los últimos años, por lo que el efecto observado estaría influenciado por las primeras etapas de la regulación tarifaria, dado que fueron implementadas de manera progresiva.

- **Tamaño de EPS.**

  Los resultados muestran que en comparación con la categoría de referencia (EPS Grande 1), las EPS clasificadas como Grande 2, Medianas y Pequeñas presentan coeficientes negativos de -0.085, -0.102 y -0.106 respectivamente, todos estadísticamente significativos al 5%. Esto indica que, con relación a la EPS Grande 1, las EPS de menor tamaño muestran menores niveles de eficiencia técnica, posiblemente para adaptarse a los requerimientos regulatorios, mayores costos de cumplimiento o dificultades operativas para implementar cambios normativos.

5.3.3 Modelo 2: Comparación de resultados Tobit versus Simar-Wilson (2007)

Del análisis de los resultados obtenidos, se observan diferencias notorias en la significancia y magnitud de los coeficientes estimados, lo que refleja la importancia de la corrección metodológica aplicada por Simar & Wilson, el cual al corregir la dependencia serial y el sesgo de los escores DEA, ofrece un resultado más robusto.

Tabla 27.
Modelo 2: comparación de efectos Tobit versus Simar & Wilson (2007)

Variable	Modelo Tobit (N=423)	Simar & Wilson (N=321)	Diferencia
Tamaño de EPS: Grande 2, Mediana, Pequeña	No significativa	–8.5 a –10.6 pp**	
Tiempo bajo RAT	–0.11 pp	–0.189 pp	–0.079 pp
Fiscalizaciones	-	–0.547 pp	-
Tiempo con regulación tarifaria	-	+0.062 pp	-
Duración transición FT	-	–3.73 pp	-

Nota: *** p<0.01, ** p<0.05. Coeficientes en puntos porcentuales (pp)
Los Coeficientes representan cambio en puntos porcentuales (pp) respecto a: EPS Grande 1 (referencia). Efectos controlados por todas las variables del modelo.

Como se muestra en la Tabla 27, mientras el modelo Tobit solo identifica una variable significativa al 5% (meses bajo RAT), el enfoque de Simar & Wilson revela que las variables: tamaño de EPS, tiempo bajo RAT, fiscalizaciones, tiempo con regulación tarifaria, duración de la transición tarifaria son estadísticamente significativas. Asimismo, los efectos marginales en el modelo Simar & Wilson son considerablemente mayores en magnitud, lo que sugiere que el modelo Tobit subestima el impacto real de estas variables sobre los niveles de ineficiencia.

6. Conclusiones

- El análisis de las EPS eficiencia técnica (DEA-VRS = 1.00) para el periodo evaluado (2015-2023) muestra que, las EPS clasificadas como Grande 1 registraron sistemáticamente los niveles más altos de eficiencia (superiores a 0.90), salvo en 2020, cuando descendieron a 0.896, probablemente por las restricciones derivadas de la pandemia que afectaron el consumo de los usuarios. Las EPS Grande 2 mantuvieron estabilidad con una eficiencia media de 0.886 y un repunte temporal en 2021. Las EPS Medianas evidenciaron una mejora en 2021 (0.889) respecto a 2020 (0.885), mostrando una ligera disminución en el 2023 (0.888). Por su parte, las EPS Pequeñas mostraron una disminución de la eficiencia a partir del 2017 respecto al 2016 (pasando de 0.911 a 0.882), en los años posteriores el nivel de eficiencia se mantuvo alrededor de 0.88; sin variaciones significativas durante la pandemia, explicado porque las EPS pequeñas operan en mercados locales menos dinámicos.

- Los resultados confirman la hipótesis 1 respecto a que las variables ambientales: macrorregión, densidad y tamaño de la EPS (relacionas al entorno operativo) influyen en la eficiencia técnica de las EPS. Tanto el modelo Tobit (N=423) como el método de Simar y Wilson (N=321) coinciden en la dirección de los efectos, aunque difieren en su magnitud, siendo más pronunciados bajo Simar y Wilson (2007), que corrige sesgos por error de medición y dependencia entre scores. En ambos modelos, las EPS de la macrorregión Oriente presentan menor eficiencia respecto a la macrorregión Centro (Tobit: -6.74 pp, significativo al 1%; S&W: -12.10 pp, significativo al 1%), mientras que la macrorregión Sur muestra un efecto positivo (Tobit: +4.07 pp, significativo al 1%; S&W: +6.02 pp, significativo al 5%). Asimismo, se confirma la presencia de economías de densidad, con un impacto

positivo en ambos modelos (Tobit: +0.12 pp, significativo al 1%; S&W: +0.19 pp, significativo al 1%). Respecto al tamaño, la metodología de Simar y Wilson identifica que las EPS Medianas presentan 12.58 pp menos eficiencia que las EPS Grande 1, con significancia al 5%, lo que confirma que el tamaño es un factor relevante en el desempeño. Por otro lado, se rechaza la hipótesis 1 respecto a que las variables micromedición y número de localidades influyen en la eficiencia, ya que no mostraron evidencia estadística de significancia en el análisis realizado.

- Asimismo, confirma la hipótesis 2, respecto a que las variables vinculadas a la regulación influyen en la eficiencia técnica de las EPS. Los resultados del método Simar y Wilson (2007) muestran que el tamaño de la EPS, el tiempo bajo RAT, las fiscalizaciones, el tiempo con regulación tarifaria y la duración de la transición tarifaria son significativos, a diferencia del enfoque Tobit, que solo identificó el tiempo bajo RAT.

  En cuanto a la dirección de los efectos, el tamaño tiene un impacto negativo (–8.5 a –10.6 pp), lo que indica que las EPS más pequeñas son menos eficientes. También se observa un efecto negativo del tiempo bajo RAT (–0.189 pp), de las fiscalizaciones (–0.547 pp) y de la duración de la transición tarifaria (–3.73 pp), mientras que el tiempo con regulación tarifaria tiene un efecto positivo (+0.062 pp). Estos resultados sugieren que la estabilidad regulatoria favorece la eficiencia, mientras que a una transición tarifaria prolongada y los mayores costos asociados a fiscalizaciones la reducen.

- La presente investigación, basada en evidencia empírica, contribuye al fortalecimiento de políticas públicas orientadas a mejorar la eficiencia del servicio y avanzar en el cumplimiento del ODS 6 en el Perú. Los resultados muestran que

factores externos a la EPS, como el factor geográfico y la regulación, influyen en la eficiencia, pudiendo incluso reducirla. La estabilidad regulatoria se identifica como uno de los elementos que ha favorecido la eficiencia; en contraste, una transición tarifaria prolongada y mayores costos de fiscalización la disminuyen, lo que sugiere la conveniencia de incorporar mecanismos en los esquemas regulatorios que orienten las fiscalizaciones hacia incentivos que promuevan la eficiencia de las EPS.

7. Recomendaciones

- Los resultados muestran que factores de ubicación geográfica pueden tener un impacto negativo en la eficiencia. En ese sentido, la inclusión de criterios territoriales o la focalización de intervenciones en la región Oriente puede contribuir a que los prestadores de servicios de agua potable y saneamiento mejoren su eficiencia.

- Fortalecer la estabilidad de la regulación tarifaria, dado su impacto positivo sobre la eficiencia de las EPS.

- A partir de los resultados, se evidencia la presencia de economías de densidad: a mayor número de conexiones por kilómetro de red, se incrementa la eficiencia. En ese sentido, esta variable resulta clave en procesos como la integración de prestadores, donde aquellas integraciones que incluyan localidades con alta densidad pueden potenciar significativamente los beneficios esperados.

- Complementar el diseño regulatorio con mecanismos en la fiscalización que promuevan la eficiencia, orientándola hacia un enfoque preventivo y de mejora continua. Asimismo, considerar el tamaño de las EPS en la aplicación de estas medidas, dado que las empresas más pequeñas tienden a mostrar menor eficiencia, posiblemente por su limitada capacidad para implementar y adoptar nuevas normativas. Incorporar criterios diferenciados podría contribuir a reducir brechas y fortalecer la sostenibilidad del servicio.

8. Referencias Bibliográficas

Ablanedo-Rosas, J. H., Guerrero Campanur, A., Olivares-Benitez, E., Sánchez-García, J. Y., & Nuñez-Ríos, J. E. (2020). Operational efficiency of Mexican water utilities: Results of a double-bootstrap data envelopment analysis. *Water*, *12*(2), 553. https://doi.org/10.3390/w12020553

Anang, B. T. (2022). Two-stage DEA estimation of technical efficiency: Comparison of different estimators. Review of Agricultural and Applied Economics, 25(1), 65–72.

Banco Mundial. (2020). De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe. Banco Mundial. https://www.bancomundial.org/es/topic/water/publication/wastewater-initiative

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078–1092.

Benavente Orué, A. P. (2019). Análisis de la eficiencia técnica en los servicios de saneamiento en el Perú urbano, 2008–2016 (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Empresariales, Carrera de Economía). Lima, Perú.

Berg, S. V., & Lin, C. (2008). Consistency in performance rankings: The Peru water sector. Applied Economics, *40*(6), 793-805. https://doi.org/10.1080/00036840600749409

Bonifaz, J. L., & Itakura, R. (2014). *Documento de Discusión CIUP DD1413*. Presentado en la Conferencia Anual del Consorcio de Universidades, Perú. Consorcio de Investigación Económica y Social (CIES).

Coelli, T., et al. (2005). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Springer. Páginas clave: 172 (orientación), 188 (interpretación de scores).

Berg, S. (2010). Water Utility Benchmarking. IWA Publishing. Páginas clave: 48-50 (transformación de scores).

Banker, R. D., & Natarajan, R. (2008). Evaluating Contextual Variables. Operations Research, 56(1), 48-63

Carrasco, A. C., & Freitas, R. M. (2023). Regulation and efficiency in sanitation services: Evidence from Brazil [Preprint]. SSRN. https://doi.org/10.2139/ssrn.4429006

Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations. En W. W. Cooper, L. M. Seiford, & J. Zhu (Eds.), Handbook on Data Envelopment Analysis (Vol. 164, pp. 1-39). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6151-8_1

Corton, M. L. (2003). Benchmarking in the Latin American water sector: The case of Peru. Utilities Policy, 11(3), 133-142. https://doi.org/10.1016/S0957-1787(03)00035-3

Decreto Supremo N.º 001-2025-VIVIENDA: Decreto Supremo que aprueba el Texto Único Ordenado del Decreto Legislativo N.º 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley del Servicio Universal de Agua Potable y Saneamiento. Diario Oficial El Peruano, publicado el 15 de enero del 2025.

Díaz, G. (2016). Benchmarking the efficiency of public water companies in Peru: A conditional DEA approach. Public Enterprise, 22(1), 18–34. https://doi.org/pehyj.2016.2201.02

EMSAPUNO. (2011–2023). *Memorias anuales*. Recuperado de:

- https://emsapuno.com.pe/downloads/TRANSPARENCIA/MEMORIA/MEMORIA_ANUAL_2015.pdf
- https://emsapuno.com.pe/downloads/TRANSPARENCIA/MEMORIA/MEMORIA_ANUAL_2016.pdf
- https://emsapuno.com.pe/downloads/TRANSPARENCIA/MEMORIA/MEMORIA_ANUAL_2018.pdf
- https://emsapuno.com.pe/downloads/TRANSPARENCIA/MEMORIA/MEMORIA_ANUAL_2019.pdf
- https://emsapuno.com.pe/downloads/TRANSPARENCIA/MEMORIA/MEMORIA_ANUAL_2020.pdf
- https://emsapuno.com.pe/downloads/TRANSPARENCIA/MEMORIA/MEMORIA_ANUAL_2021.pdf
- https://emsapuno.com.pe/downloads/TRANSPARENCIA/MEMORIA/MEMORIA_ANUAL_2022.pdf
- https://emsapuno.com.pe/downloads/TRANSPARENCIA/MEMORIA/MEMORIA_ANUAL_2023.pdf

EMAPISCO S.A. (2017–2023). Memorias institucionales. Documentos obtenidos desde el portal institucional en el momento de consulta. Actualmente no disponibles en el mismo enlace.

EPS SEDA Huánuco S.A. (2020–2022). Memorias anuales. Recuperado de:

- https://sedahuanuco.com/pdf/memoria_anual_2020.pdf
- https://sedahuanuco.com/pdf/memoria_anual_2021.pdf

- https://sedahuanuco.com/pdf/memoria_anual_2022.pdf

EPS Moyobamba S.A. (2023). *Memoria institucional*. Recuperado de:

- https://www.epsmoyobamba.com.pe/documentos-gestion

EPS SEDAM Huancayo S.A. (2017 y 2022). Memorias anuales. Recuperado de:

- https://sedamhuancayo.com.pe/memoria-anual/

EPS Tacna S.A. (2022). *Memoria anual*. Recuperado de:

- https://www.gob.pe/institucion/epstacna/informes-publicaciones/5696102-memoria-anual-2022

EMAPA Cañete S.A. (2023). Memoria institucional. Documentos obtenidos desde el portal institucional en el momento de consulta. Actualmente no disponibles en el mismo enlace.

EMAPAT S.A. (2023). *Memoria anual*. Recuperado de:

- https://emapat.com.pe/administrador_pagina/Vista/gestion_institucional/fotos/MEM_6836f97161772.pdf

EMAPAVIGS S.A. (2023). *Memoria institucional*. Recuperado de:

- https://emapavigssa.com/gobernabilidad

Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), 120(3), 253. https://doi.org/10.2307/2343100

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2023.). *Indicadores demográficos: densidad poblacional por región*. Recuperado de https://www.inei.gob.pe

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (s.f.). *Objetivo de Desarrollo Sostenible 6: Agua limpia y saneamiento*. Sistema de Seguimiento y Monitoreo de los ODS. https://ods.inei.gob.pe/ods/objetivos-de-desarrollo-sostenible/agua-limpia-y-saneamiento

Lin, C. (2005). Service quality and prospects for benchmarking: Evidence from the Peru water sector. *Utilities Policy*, *13*(3), 230-239. https://doi.org/10.1016/j.jup.2005.04.002

Liu, J. S., Lu, L. Y., Lu, W. M., & Lin, B. J. (2020). Data envelopment analysis 1978–2010: A citation-based literature survey. Omega, 92, 102075

Mergoni, A., Emrouznejad, A., & De Witte, K. (2025). Fifty years of Data Envelopment Analysis. European Journal of Operational Research, 326(3), 389-412. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.12.049

Mergoni, A., Emrouznejad, A., & De Witte, K. (2025). Fifty years of Data Envelopment Analysis. European Journal of Operational Research, 326(3), 389-412. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.12.049

Sachs, J. D., Lafortune, G., & Fuller, G. (2024). *Sustainable Development Report 2024: The SDGs and the UN Summit of the Future*. SDG Transformation Center. https://doi.org/10.25546/108572

Simar, L., & Wilson, P. W. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. Journal of Econometrics, 136(1), 31–64.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2024). Benchmarking regulatorio de las empresas prestadoras 2024: Datos 2023 (Informe N.º 00018-2024-SUNASS-DF). Dirección de Fiscalización. Benchmarking regulatorio de la SUNASS 2024 - EP (datos 2023) - Informes y publicaciones - Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - Plataforma del Estado Peruano

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass). (2015–2023). *Benchmarking regulatorio de las empresas prestadoras: Informes anuales 2015–2023*. Dirección de Fiscalización https://www.gob.pe/institucion/sunass/informes-publicaciones/4625977-benchmarking-regulatorio-de-las-empresas-prestadoras-2023

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass). (2025, 4 de febrero). Información institucional sobre informes de evaluación extraordinaria en el RAT. Gob.pe. https://www.gob.pe/institucion/sunass/informes-publicaciones/6433152-informes-de-evaluacion-extraordinaria-para-la-continuidad-o-conclusion-en-el-rat-de-las-eps

Tupper, H. C., & Resende, M. (2004). Efficiency and regulatory issues in the Brazilian water and sewage sector. Estudos Econômicos.

Wooldridge, J. M. (2019). Introductory Econometrics: A Modern Approach (7th ed., p. 312). Cengage Learning.
.

Anexo 1.

EPS con plantas de tratamiento de aguas residuales

N°	EPS	Tamaño
1	SEDAPAL S.A.	S
2	EPS TACNA S.A.	G1
3	SEDALIB S.A.	G1
4	EPSEL S.A.	G1
5	SEDAPAR S.A.	G1
6	EPS SEDACUSCO S.A.	G1
7	EPS GRAU S.A.	G1
8	EPS EMAPA CAÑETE S.A.	G2
9	EMSAPUNO S.A.	G2
10	UE AGUA TUMBES	G2
11	SEDACHIMBOTE S.A.	G2
12	SEDA AYACUCHO S.A.	G2
13	EMAPA SAN MARTÍN S.A.	G2
14	EPS SEMAPACH S.A.	G2
15	EPS EMAPICA S.A.	G2
16	EPS SEDAJULIACA S.A.	G2
17	EPS SEDAM HUANCAYO S.A.	G2
18	EMAPACOP S.A.	M
19	EMAPISCO S.A.	M
20	ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO SELVA CENTRAL S.A. (EPSSSCSA)	M
21	EPS MOQUEGUA S.A.	M
22	EPS ILO S.A.	M
23	EPS BARRANCA S.A.	M
24	EPS EMPSSAPAL S.A.	M
25	EPS MUNICIPAL MANTARO S.A.	M
26	EPS MARAÑON S.A.	M
27	EMAPAVIGS S.A.	P
28	EMAPA - Y S.R.L.	P
29	EPS NOR PUNO S.A.	P
30	EPS AGUAS DEL ALTIPLANO S.R.L.	P
31	EPS RIOJA S.A.	P

Anexo 2.

Variables del modelo DEA (primera etapa)

Categoría asignada	Variable	Tratamiento en literatura	Justificación en este estudio
Outputs	N° conexiones activas	(Byrnes et al., 2010; Salazar-Adams, 2020)	Mide acceso al servicio
	Volumen facturado (m^3)	(Berg, 2010; Tourinho et al., 2022)	Refleja eficiencia comercial y sostenibilidad financiera
	Continuidad (horas/día)	Mixto** (Output: Mocholi-Arce et al. (2022)	Captura calidad del servicio entregado
	Presión	(Carrasco & Freitas, 2023)	Indicador técnico de calidad operativa
	Aguas residuales tratadas (m^3)	(Daraio & Simar, 2005; Pereira & Marques, 2022)	Cumplimiento de mandato ambiental
Inputs	N° trabajadores	(Berg & Marques, 2011)	Recurso humano invertido
	Producción agua (m^3)	(Fried et al., 1999; Ablanedo-Rosas et al., 2020)	Insumo primario del proceso
	Costos operativos	(Simar & Wilson, 2007; Tourinho et al., 2022)	Inversión financiera
	Km red agua potable	(Picazo-Tadeo et al., 2009; Carrasco & Freitas, 2023	Infraestructura física requerida

Anexo 3.

Variables ambientales y regulatorias

Tabla 1: Variables ambientales contexto operativo

Variable	Tipo	Justificación Teórica
Tamaño de empresa	Continua/Categórica	Efecto economías de escala (Coelli et al., 2005)
N° localidades administradas	Continua	Complejidad operativa (Berg, 2010)
Densidad poblacional	Continua	Heterogeneidad geográfica Factor externo que afecta costos. Variable para evaluar economías de escala
Región	Categórica	Heterogeneidad geográfica
Micromedición	%	*Mixto**:* • Ambiental: Berg (2010) • Input: Raramente

Tabla 2: *Variables del contexto regulatorio*

Variable	Tipo	Justificación Teórica
Régimen de Apoyo Transitorio (RAT)	Número de años	Intervención regulatoria para estabilizar financieramente a la EPS
N° fiscalizaciones	número	Intensidad de supervisión; contexto regulatorio exógeno a la gestión de la empresa
Acumulación histórica de fiscalizaciones	número	Efecto acumulado de la fiscalización
Tiempo entre fórmulas tarifarias	Número de años	Periodicidad de actualizaciones tarifarias
Tiempo con fórmula vigente (meses)	Número de años	Estabilidad regulatoria

Nota: Selección de variables considerando su uso en marcos analíticos como los de Ablanedo-Rosas et al. (2020) y Byrnes et al. (2010).

Anexo 4.
EPS según región y macrorregión

Macrorregión	N° región	Región	EPS
Centro	8	Lima	Aguas de Lima Norte S.A.
			Emapa Huaral S.A.
			Emapa Cañete S.A.
			EPS Barranca S.A.
		Huánuco	EPS Seda Huánuco S.A.
		Ica	Emapisco S.A.
			Emapavigs S.A.
			EPS Emapica S.A.
		Pasco	Emapa Pasco S.A.
		Ayacucho	Seda Ayacucho S.A.
		Áncash	Sedachimbote S.A.
			EPS Chavín S.A.
		Junín	EPSSSCSA
			EPS Mantaro S.A.
			EPS Sedam Huancayo S.A.
			Emsapa Yauli La Oroya S.R.L.
		Huancavelica	Emapa - Hvca S.A.
Norte	5	Tumbes	UE Agua Tumbes
		Cajamarca	EPS Marañon S.A.
		La Libertad	EPS Sedalib S.A.
		Lambayeque	EPSELS.A.
		Piura	EPS Graú S.A.
Sur	7	Puno	Emsapuno S.A.
			Emapa Y S.R.L..
			EPS Nor Puno S.A.
			EPS Sedajuliaca S.A.
			EPS Aguas Del Altiplano S.R.L.
		Madre de Dios	EPS Emapat S.A.
		Moquegua	EPS Moquegua S.A.
			EPS Ilo S.A.
		Arequipa	Sedapar S.A.
		Cusco	Sedacusco S.A.
			EPS Emaq S.A.
			Empssapal S.A.
			EPS Empsapa Calca S.A.
		Apurímac	EPS_Emusap Abancay S.A.
			EPS Emsap Chanka S.A.
		Tacna	EPS Tacna S.A.
Oriente	4	Amazonas	Emusap S.R.Ltda
			Epssmu S.R. Ltda
			Emapab S.R.Ltda.
		Ucayalí	Emapacop S.A.
		Loreto	SEDALORETO S.A.
		San Martín	EMAPA San Martín S.A.
			EPS Moyobamba S.A.

Anexo 5.

Top eficiencia máxima y mínima (2015–2023)

Año	Nombre EPS	EPS tamaño	Número localidades	Conexiones activas agua	Continuidad	Presión (mca)	Producción agua (m^3/año)	Volumen facturado (m^3/año)	Trabajadores	Costo total (S/ constantes 2021)	Densidad (conexiones/ km red)	Tratamiento aguas residuales	Eficiencia técnica DEA-VRS	Ranking DEA-VRS	Categoría
2015	EMPSSAPAL S.A.	M	2	14,215	21	18	3,326	2,086	54	2,729	106	0	1.00	1	Top
2015	SEDALIB S.A.	G1	13	162,919	9	10	56,014	28,879	494	63,792	129	17,481	1.00	1	Top
2015	EMAPACOP	M	1	21,389	18	8	12,735	12,294	116	19,835	64	197	1.00	1	Top
2015	EPSEL S.A.	G1	26	145,824	17	7	51,639	28,767	211	91,523	151	31,973	1.00	1	Top
2015	EPSSCSA	M	6	21,295	18	16	16,736	7,385	71	6,473	270	1,480	1.00	1	Top
2015	EPS MARAÑON S.A.	M	3	17,186	22	35	7,360	3,478	23	4,809	101	9,591	1.00	1	Top
2015	EPS SIERRA CENTRAL S.A.	P	1	8,715	23	25	3,946	2,007	22	1,174	99	0	1.00	1	Top
2015	EMAPICA S.A.	G2	4	43,728	13	12	19,360	13,774	206	24,096	111	17,049	1.00	1	Top
2015	EPS EMPSAPA CALCA S.A.	P	1	3,152	17	11	1,464	876	14	545	154	0	1.00	1	Top
2015	EPS CHAVÍN S.A.	M	4	26,817	23	26	11,451	6,765	143	10,186	160	0	1.00	1	Top
2015	EMAQ S.R.L	P	1	5,953	23	23	8,063	3,200	24	2,176	165	0	1.00	1	Top
2015	EMSAPA YAULI LA OROYA S.R.L	P	1	2,939	24	34	545	474	15	755	164	0	1.00	1	Top
2015	EPS NOR PUNO S.A.	P	2	7,066	13	22	1,217	961	16	1,468	98	319	1.00	1	Top
2015	EMAPA-HVCA S.A.	P	1	8,230	22	30	3,680	2,021	45	4,466	113	0	0.76	43	Baja
2015	SEMAPACH S.A.	G2	7	33,232	14	4	13,651	7,759	84	19,447	89	10,654	0.75	44	Baja
2015	EPS ILO S.A.	M	1	22,023	15	24	6,617	3,354	107	15,657	104	2,836	0.73	45	Baja
2015	SEDALORETO	G2	3	72,133	9	9	34,307	15,364	369	40,040	103	0	0.68	46	Baja
2015	EPS BARRANCA S.A.	M	2	15,289	15	10	8,594	3,514	91	6,175	83	212	0.62	47	Baja
2016	EMAPAVIGS S.A	P	1	7,320	3	8	2,254	1,830	12	4,204	91	448	1.00	1	top
2016	EPS EMSAP CHANKA S.A.	P	1	5,083	17	24	1,356	1,169	23	1,519	138	0	1.00	1	Top
2016	EPSEL S.A.	G1	26	149,316	15	8	52,012	29,004	209	91,797	150	19,804	1.00	1	Top
2016	SEDACUSCO S.A.	G1	2	79,650	20	32	21,860	13,596	112	60,128	112	14,513	1.00	1	Top
2016	EPSSCSA	M	6	22,085	18	15	18,647	7,399	84	7,379	275	3,775	1.00	1	Top

Año	Nombre EPS	EPS tamaño	Número localidades	Conexiones activas agua	Continuidad	Presión (mca)	Producción agua (m^3/año)	Volumen facturado (m^3/año)	Trabajadores	Costo total (S/ constantes 2021)	Densidad (conexiones/ km red)	Tratamiento aguas residuales	Eficiencia técnica DEA-VRS	Ranking DEA-VRS	Categoría
2016	EPS EMPSAPA CALCA S.A.	P	1	3,321	15	8	1,514	886	14	541	92	0	1.00	1	Top
2016	EMSAPA YAULI LA OROYA S.R.L	P	1	2,939	24	34	556	474	15	752	164	0	1.00	1	Top
2016	EMAQ S.R.L	P	1	6,325	23	27	7,709	3,308	24	2,364	176	0	1.00	1	Top
2016	EPS NOR PUNO S.A.	P	2	7,167	12	24	1,203	952	28	1,024	99	348	1.00	1	Top
2016	SEMAPACH S.A.	G2	7	33,126	13	3	11,341	7,625	35	20,116	82	9,051	1.00	1	Top
2016	EMPSSAPAL S.A.	M	2	14,583	21	18	3,564	2,232	43	2,922	108	0	1.00	1	Top
2016	EPS ILO S.A.	M	1	22,988	15	24	6,948	3,508	107	15,452	109	3,919	0.77	43	Baja
2016	EMAPAB S.R.LTDA	P	1	5,120	2	13	2,427	1,231	25	2,039	115	0	0.76	44	Baja
2016	EPS RIOJA S.A.	P	1	5,605	20	17	2,088	985	21	2,267	112	0	0.72	45	Baja
2016	SEDALORETO	G2	3	72,251	9	9	35,807	15,589	324	42,127	102	0	0.68	46	Baja
2016	EPS BARRANCA S.A.	M	2	15,549	16	11	9,005	3,598	106	8,871	85	180	0.56	47	Baja
2017	SEDAPAR S.A.	G1	19	277,189	23	30	71,724	48,463	741	160,633	136	49,985	1.00	1	Top
2017	EMSA PUNO S.A.	G2	2	32,506	10	32	8,122	5,039	263	16,635	160	3,091	1.00	1	Top
2017	EPS MARAÑON S.A.	M	3	18,925	23	36	8,194	4,366	23	5,370	108	5,626	1.00	1	Top
2017	EPS MOYOBAMBA S.R.LTDA	M	1	12,816	24	21	3,809	2,352	65	7,742	186	0	1.00	1	Top
2017	EPSEL S.A.	G1	26	151,296	17	6	52,588	28,192	309	90,924	157	42,089	1.00	1	Top
2017	SEDACUSCO S.A.	G1	2	82,342	20	31	23,551	14,367	112	58,554	111	12,325	1.00	1	Top
2017	EPS EMPSAPA CALCA S.A.	P	1	3,429	17	10	1,924	866	12	563	94	0	1.00	1	Top
2017	EPS CHAVÍN S.A.	M	4	29,130	23	25	13,658	6,852	143	10,674	174	0	1.00	1	Top
2017	EPS MUNICIPAL MANTARO S.A.	M	3	17,984	22	19	8,852	4,245	54	4,250	94	1,675	1.00	1	Top
2017	EMSAPA YAULI LA OROYA S.R.L	P	1	3,009	24	29	486	421	12	712	156	0	1.00	1	Top
2017	SEDALORETO	G2	3	71,725	7	8	35,437	14,145	333	42,199	101	0	0.66	43	Baja
2017	EMAPACOP	M	1	22,528	17	10	17,658	8,774	117	21,748	56	224	0.62	44	Baja
2017	UNIDAD EJECUTORA DE TUMBES	G2		41,147	14	12	18,081	5,587	79	26,767	71	2,356	0.61	45	Baja
2017	EPS BARRANCA S.A.	M	2	16,003	15	10	9,400	3,757	105	6,743	87	238	0.61	46	Baja
2017	EMAPISCO S.A.	M	3	18,602	14	7	8,492	4,250	98	14,796	73	6,443	0.60	47	Baja

Año	Nombre EPS	EPS tamaño	Número localidades	Conexiones activas agua	Continuidad	Presión (mca)	Producción agua (m^3/año)	Volumen facturado (m^3/año)	Trabajadores	Costo total (S/ constantes 2021)	Densidad (conexiones/ km red)	Tratamiento aguas residuales	Eficiencia técnica DEA-VRS	Ranking DEA-VRS	Categoría
2018	EMAQ S.R.L	P	1	6,834	23	33	7,115	3,098	21	2,749	109	0	1.00	1	Top
2018	SEDA AYACUCHO S.A.	G2	2	57,726	21	29	17,192	12,458	205	19,662	142	11,880	1.00	1	Top
2018	EPSSCSA	M	6	23,207	19	20	19,118	8,034	87	7,198	230	3,818	1.00	1	Top
2018	EPSEL S.A.	G1	26	155,341	17	6	55,399	28,139	297	91,810	161	44,452	1.00	1	Top
2018	EPS SEDAHUANUCO S.A.	G2	3	41,358	23	20	17,472	11,292	225	22,705	145	4	1.00	1	Top
2018	EMPSSAPAL S.A.	M	2	15,653	21	19	3,918	2,028	43	3,301	116	0	1.00	1	Top
2018	EMSAPA YAULI LA OROYA S.R.L	P	1	3,034	24	29	486	439	11	653	157	0	1.00	1	Top
2018	SEDAPAR S.A.	G1	19	291,141	23	31	77,383	54,292	751	162,061	140	52,320	1.00	1	Top
2018	EMAPA-HVCA S.A.	P	1	9,789	23	41	3,723	2,311	43	5,037	133	0	1.00	1	Top
2018	SEDALORETO	G2	3	72,089	8	8	34,508	14,276	328	43,732	102	0	0.65	43	Baja
2018	EPS BARRANCA S.A.	M	2	16,589	16	10	8,762	4,061	105	9,122	87	220	0.62	44	Baja
2018	UNIDAD EJECUTORA DE TUMBES	G2	14	34,741	11	12	18,018	5,715	79	18,470	60	2,407	0.61	45	Baja
2018	EPS RIOJA S.A.	P	1	6,047	20	18	1,938	994	31	2,500	81	0	0.58	46	Baja
2018	EMAPACOP	M	1	22,586	18	10	17,489	8,364	168	26,645	56	244	0.56	47	Baja
2019	EPS NOR PUNO S.A.	P	2	7,910	12	18	1,146	1,023	19	1,710	83	366	1.00	1	top
2019	EPSEL S.A.	G1	26	160,760	15	7	57,769	28,669	282	97,979	153	43,363	1.00	1	top
2019	EMAQ S.R.L	P	1	7,201	22	32	7,401	3,320	24	2,427	111	0	1.00	1	top
2019	EMSAPA YAULI LA OROYA S.R.L	P	1	3,036	24	34	884	445	11	721	153	0	1.00	1	top
2019	EPSSCSA	M	6	23,855	19	21	18,894	8,490	92	8,549	236	3,619	1.00	1	top
2019	SEDA AYACUCHO S.A.	G2	2	59,184	21	30	17,598	12,676	209	25,278	144	12,568	1.00	1	top
2019	EPS EMPSAPA CALCA S.A.	P	1	3,654	15	16	2,763	770	18	1,019	59	0	0.67	43	Baja
2019	EMAPISCO S.A.	M	3	20,525	14	8	8,341	4,725	98	21,408	74	6,693	0.66	44	Baja
2019	SEDALORETO	G2	3	73,036	12	8	36,478	14,807	326	47,532	103	0	0.65	45	Baja
2019	EPS BARRANCA S.A.	M	2	17,240	17	11	9,059	4,250	102	9,666	89	220	0.63	46	Baja
2019	EMAPACOP	M	1	23,902	18	11	17,447	9,332	161	24,291	59	542	0.63	47	Baja

Año	Nombre EPS	EPS tamaño	Número localidades	Conexiones activas agua	Continuidad	Presión (mca)	Producción agua (m^3/año)	Volumen facturado (m^3/año)	Trabajadores	Costo total (S/ constantes 2021)	Densidad (conexiones/ km red)	Tratamiento aguas residuales	Eficiencia técnica DEA-VRS	Ranking DEA-VRS	Categoría
2020	SEDACAJ S.A.	G2	3	43,130	17	26	9,960	7,389	225	30,084	139	0	1.00	1	Top
2020	SEDAPAR S.A.	G1	19	302,218	23	33	80,648	54,899	697	146,673	85	55,869	1.00	1	Top
2020	SEMAPACH S.A.	G2	7	49,844	13	7	13,012	10,175	58	19,109	124	10,552	1.00	1	Top
2020	EPS CHAVÍN S.A.	M	4	30,748	24	26	15,750	7,148	143	10,826	113	0	1.00	1	Top
2020	EPSSCSA	M	6	25,155	19	19	18,676	7,856	83	7,355	249	3,598	1.00	1	Top
2020	EMSAPA YAULI LA OROYA S.R.L	P	1	3,211	24	37	1,926	419	13	729	142	0	1.00	1	Top
2020	SEDAJULIACA S.A.	G2	1	52,364	8	4	11,281	10,807	162	17,012	131	4,821	1.00	1	Top
2020	EPS NOR PUNO S.A.	P	2	9,761	12	15	1,136	1,004	22	1,787	103	375	1.00	1	Top
2020	SEDAM HUANCAYO S.A.	G2	8	77,514	18	17	30,782	19,978	235	26,134	34	0	1.00	1	Top
2020	SEDA AYACUCHO S.A.	G2	2	61,923	21	30	17,855	12,853	187	21,241	149	12,126	1.00	1	Top
2020	EPS SEDAHUANUCO S.A.	G2	3	42,942	23	21	18,986	11,478	200	25,523	150	0	1.00	1	Top
2020	UNIDAD EJECUTORA DE TUMBES	G2		39,869	9	6	18,116	6,030	79	18,167	69	2,592	0.71	43	Baja
2020	EMAPICA S.A.	G2	4	50,902	16	12	20,971	11,579	226	28,443	98	8,622	0.71	44	Baja
2020	SEDALORETO	G2	3	75,202	12	9	37,394	16,133	351	43,268	106	0	0.69	45	Baja
2020	EMAPACOP	M	1	24,914	18	13	17,582	9,250	156	21,866	61	468	0.64	46	Baja
2020	EMAPISCO S.A.	M	3	21,061	16	10	8,726	4,718	111	15,516	76	6,677	0.64	47	Baja
2021	EPSSC S.A	M	6	26,202	18	19	18,073	8,321	94	7,501	243	3,392	1.00	1	Top
2021	UNIDAD EJECUTORA DE TUMBES	G2		40,553	9	7	18,340	6,585	77	8,609	70	2,376	1.00	1	Top
2021	EPS MUNICIPAL MANTARO S.A.	M	3	19,947	22	20	9,126	4,395	59	5,211	104	1,419	1.00	1	Top
2021	EPS MOQUEGUA S.A.	M	1	22,512	24	31	6,170	4,812	88	12,720	86	4,383	1.00	1	Top
2021	SEDAM HUANCAYO S.A.	G2	8	79,068	18	15	31,486	20,872	268	26,077	101	72	1.00	1	Top
2021	SEDAPAR S.A.	G1	19	309,416	23	32	85,079	56,419	705	144,802	94	58,490	1.00	1	Top
2021	EMSAPA YAULI LA OROYA S.R.L	P	1	3,172	24	35	746	404	12	686	137	0	1.00	1	Top
2021	SEDA AYACUCHO S.A.	G2	2	64,942	21	29	18,213	13,004	188	24,153	137	12,954	1.00	1	Top
2021	EPS EMAPAT S.A.	M	1	21,985	24	21	5,723	4,327	157	17,708	92	0	1.00	1	Top
2021	EPS NOR PUNO S.A.	P	2	10,172	11	14	1,196	1,047	27	1,641	107	354	1.00	1	Top

Año	Nombre EPS	EPS tamaño	Número localidades	Conexiones activas agua	Continuidad	Presión (mca)	Producción agua (m^3/año)	Volumen facturado (m^3/año)	Trabajadores	Costo total (S/ constantes 2021)	Densidad (conexiones/ km red)	Tratamiento aguas residuales	Eficiencia técnica DEA-VRS	Ranking DEA-VRS	Categoría
2021	SEDAJULIACA S.A.	G2	1	53,610	8	4	11,241	10,989	143	17,460	107	6,307	1.00	1	Top
2021	SEMAPACH S.A.	G2	7	46,750	15	8	17,462	11,712	58	19,585	115	13,564	1.00	1	Top
2021	EPS EMPSAPA CALCA S.A.	P	1	4,010	17	18	2,121	920	22	946	65	0	0.72	43	Baja
2021	EPS BARRANCA S.A.	M	2	17,843	20	12	8,932	4,485	101	7,952	91	160	0.71	44	Baja
2021	SEDALORETO	G2	3	77,118	14	12	37,288	16,346	341	45,575	102	0	0.68	45	Baja
2021	EMAPACOP	M	1	24,685	19	14	17,016	8,813	203	20,785	61	499	0.63	46	Baja
2021	EPS RIOJA S.A.	P	1	7,154	20	18	2,165	1,058	33	2,629	99	0	0.62	47	Baja
2022	EPSEL S.A.	G1	26	162,271	13	7	52,671	31,041	1,295	93,240	159	42,632	1.00	1	Top
2022	SEDACUSCO S.A.	G1	2	94,988	20	32	25,290	14,608	300	65,901	106	24,486	1.00	1	Top
2022	EMSAPA YAULI LA OROYA S.R.L	P	1	3,845	24	35	746	505	12	873	166	0	1.00	1	Top
2022	EPS SEDAHUANUCO S.A.	G2	3	43,999	23	24	20,702	11,854	197	22,449	154	0	1.00	1	Top
2022	EPS CHAVÍN S.A.	M	4	32,507	24	26	15,373	7,750	144	11,251	119	0	1.00	1	Top
2022	EMUSAP ABANCAY S.A.C	M	1	20,351	24	36	4,832	3,706	72	6,563	137	0	1.00	1	Top
2022	EPS MOQUEGUA S.A.	M	1	23,376	24	31	6,393	4,749	88	13,305	75	4,208	1.00	1	Top
2022	EMAQ S.R.L	P	1	8,370	24	42	7,762	3,509	26	3,136	121	0	1.00	1	Top
2022	EMSA PUNO S.A.	G2	2	42,655	10	21	8,447	4,975	160	14,893	92	4,514	1.00	1	Top
2022	SEDA AYACUCHO S.A.	G2	2	67,266	21	28	20,256	13,913	192	23,543	128	13,254	1.00	1	Top
2022	EPS MARAÑON S.A.	M	3	23,531	22	33	10,834	6,983	50	16,050	100	12,420	1.00	1	Top
2022	SEDAJULIACA S.A.	G2	1	54,139	6	7	11,547	11,245	152	17,071	107	8,515	1.00	1	Top
2022	EPS NOR PUNO S.A.	P	2	10,398	11	13	1,227	1,099	27	1,596	109	524	1.00	1	Top
2022	EPS BARRANCA S.A.	M	2	17,688	21	13	9,384	4,538	101	7,840	89	190	0.71	43	Baja
2022	UNIDAD EJECUTORA DE TUMBES	G2		39,955	9	7	18,026	6,602	77	18,878	69	2,515	0.70	44	Baja
2022	EPS RIOJA S.A.	P	1	7,331	21	19	2,287	1,207	33	2,709	101	895	0.68	45	Baja
2022	SEDALORETO	G2	3	77,322	10	9	38,558	16,700	341	47,013	96	0	0.67	46	Baja
2022	EMAPACOP	M	1	25,336	20	14	16,946	9,146	200	21,886	63	477	0.64	47	Baja

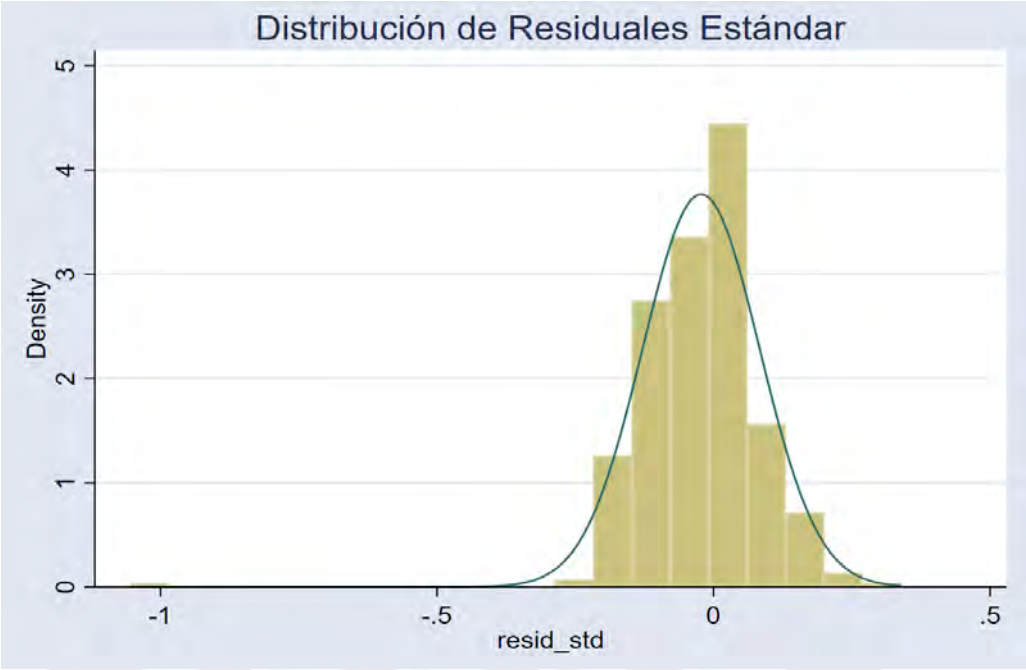
Año	Nombre EPS	EPS tamaño	Número localidades	Conexiones activas agua	Continuidad	Presión (mca)	Producción agua (m^3/año)	Volumen facturado (m^3/año)	Trabajadores	Costo total (S/ constantes 2021)	Densidad (conexiones/ km red)	Tratamiento aguas residuales	Eficiencia técnica DEA-VRS	Ranking DEA-VRS	Categoría
2023	SEDAJULIACA S.A.	G2	1	54,254	7	4	11,616	11,161	158	16,730	106	9,594	1.00	1	Top
2023	EPSEL S.A.	G1	26	162,233	17	7	52,778	30,192	911	99,987	701	37,841	1.00	1	Top
2023	EPS CHAVÍN S.A.	M	4	33,406	24	26	15,754	8,100	144	11,640	123	0	1.00	1	Top
2023	EPS TACNA S.A.	G1	3	91,312	18	17	22,552	17,115	220	45,005	118	15,961	1.00	1	Top
2023	EMSA PUNO S.A.	G2	2	43,415	10	21	8,736	4,859	160	15,415	87	4,669	1.00	1	Top
2023	SEDACAJ S.A.	G2	3	46,735	17	27	10,931	7,730	200	31,331	145	0	1.00	1	Top
2023	SEDAM HUANCAYO S.A.	G2	8	82,265	17	16	29,422	19,752	266	31,548	132	142	1.00	1	Top
2023	EPS EMAPAT S.A.	M	1	21,780	24	21	6,800	4,748	167	18,585	75	0	1.00	1	Top
2023	EMAQ S.R.L	P	1	8,595	24	46	7,452	3,655	46	3,302	119	0	1.00	1	Top
2023	SEDAPAR S.A.	G1	19	325,513	23	34	88,197	61,089	634	174,659	92	61,850	1.00	1	Top
2023	EPS NOR PUNO S.A.	P	2	10,502	14	13	1,254	1,092	23	1,569	161	409	1.00	1	Top
2023	EPS MARAÑON S.A.	M	3	24,202	22	32	10,982	7,135	83	16,864	104	28,441	1.00	1	Top
2023	EPSSCSA	M	6	28,954	17	21	18,206	9,875	87	8,036	140	3,696	1.00	1	Top
2023	EMSAPA YAULI LA OROYA S.R.L	P	1	3,845	24	40	1,278	505	31	986	159	0	1.00	1	Top
2023	EMUSAP ABANCAY S.A.C	M	1	20,893	23	35	4,903	3,885	90	7,375	138	0	1.00	1	Top
2023	SEDA AYACUCHO S.A.	G2	2	70,029	21	30	21,907	13,497	186	24,348	129	13,187	1.00	1	Top
2023	EPS SEDAHUANUCO S.A.	G2	3	44,863	23	23	20,949	12,044	192	25,140	143	0	1.00	1	Top
2023	EPS GRAU S.A.	G1	29	200,947	12	7	92,969	35,918	603	164,893	85	39,724	0.67	43	Baja
2023	EPS BARRANCA S.A.	M	2	18,055	20	12	9,190	4,374	96	8,404	91	163	0.66	44	Baja
2023	SEDALORETO	G2	3	76,546	9	8	37,988	16,282	325	47,838	95	0	0.66	45	Baja
2023	EMAPACOP	M	1	27,551	19	14	17,325	9,032	198	21,763	68	455	0.64	46	Baja
2023	EPSSMU S.R.LTDA	P	1	7,863	2	19	2,932	1,568	30	4,273	78	0	0.63	47	Baja

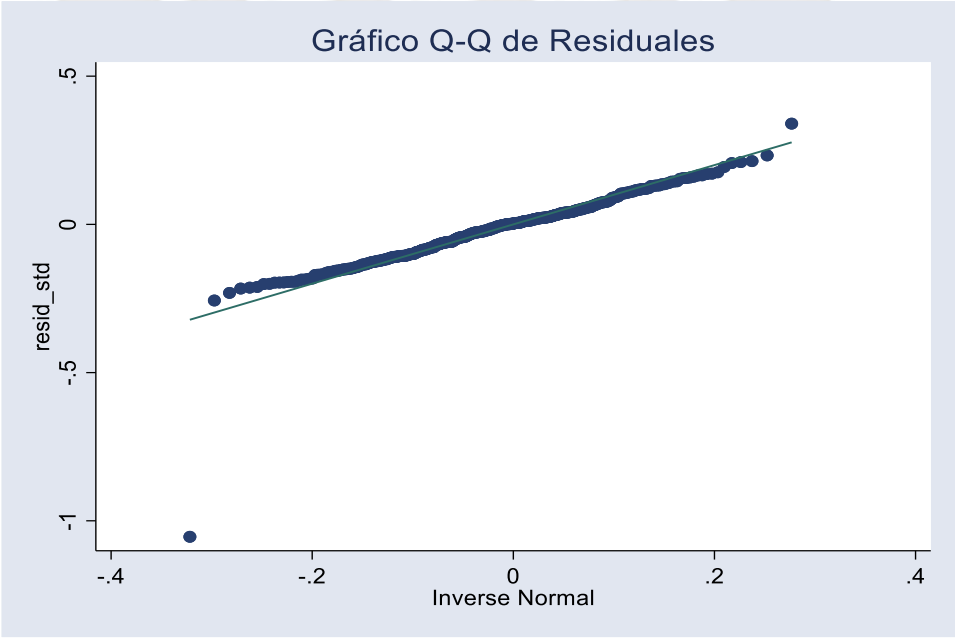
Anexo 6.

Modelo1: Tobit a través del Análisis de Residuales

Shapiro–Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
resid_std	423	0.88567	32.092	8.348	0.00000





Anexo 7.

Modelo 2: Tobit a través del Análisis de Residuales

Shapiro–Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
resid_std	423	0.94732	15.249	6.500	0.0000