

DOI: 10.24850/j-tyca-2025-04-09

Notas

Eficiencia en la provisión de agua potable: un análisis de frontera estocástica

Efficiency in the provision of drinking water: A stochastic frontier analysis

Fanny Cabrera¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0745-4921>

Juan Pablo Sarmiento², ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2841-7054>

¹Universidad de Cuenca, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador, fanny.cabrerab16@ucuenca.edu.ec

²Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, juan.sarmiento@ucuenca.edu.ec

Autora para correspondencia: Fanny Cabrera, fanny.cabrerab16@ucuenca.edu.ec

Resumen

Entender que rol juegan los diversos factores que explican la eficiencia técnica resulta fundamental para establecer los marcos regulatorios y políticas enfocadas en mejorar los niveles de eficiencia, especialmente en la prestación de servicios públicos, como el suministro de agua potable.



Este estudio tiene como objetivo calcular el nivel de eficiencia técnica orientada a los costos de los proveedores del servicio de agua potable del Ecuador y analizar sus determinantes. Para ello, se aplicó el método paramétrico análisis de frontera estocástica (SFA, por sus siglas en inglés) utilizando datos del año 2019 de la “Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales” publicada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). Los resultados muestran que los proveedores de agua potable en Ecuador podrían ahorrar sus costos y, al mismo tiempo, mantener el nivel de producción de agua potable actual. Entre los factores que explican a la eficiencia se encuentra el nivel económico del cantón, la densidad de clientes, el nivel de fuentes de extracción de agua, y la necesidad de bombeo en la provisión del servicio. Finalmente, se sugiere que las políticas públicas de mejora de la eficiencia centradas en dichos factores se realicen promoviendo la cooperación e intercambio de experiencias entre los proveedores.

Palabras clave: eficiencia técnica, agua, frontera estocástica, costo, Ecuador.

Abstract

Understanding the role that various factors play in explaining technical efficiency is crucial for establishing appropriate regulatory frameworks and policies aimed at improving efficiency levels, especially in the provision of public services such as drinking water supply. This study aims to calculate the cost-oriented technical efficiency level of Ecuador's drinking water service providers and analyze their determinants. To

achieve this goal, the parametric Stochastic Frontier Analysis (SFA) method was applied using 2019 data from the economic environmental information statistics in municipal decentralized autonomous governments published by the National Institute of Statistics and Census (INEC). The results show that drinking water providers in Ecuador could save costs while maintaining the current level of drinking water production used for service provision. Factors that explain efficiency include the economic level of the canton, customer density, water extraction sources, and the need for pumping in service provision. The findings suggest that public policies should focus on addressing these specific factors to improve efficiency in the sector, promoting cooperation and exchange of experiences among providers.

Keywords: Technical efficiency, water, stochastic frontier, cost, Ecuador.

Recibido: 19/04/2023

Aceptado: 12/05/2024

Publicado *ahead of print*: 28/05/2024

Versión final: 01/07/2025

Introducción

El rol de los proveedores de agua es crucial para lograr el acceso universal, equitativo y asequible al recurso hídrico (Villegas, Molinos-Senante, & Maziotis, 2019), ya que el nivel de eficiencia en la provisión no solo influye en la cobertura sino también en los costos y en la calidad del servicio (Carvalho & Marques, 2016). Por ello, una gestión eficiente

de los proveedores coadyuva a no profundizar la crisis del agua, dado que su escasez se explica no solo por factores naturales sino también por factores como la gobernabilidad, el marco regulatorio y otros ligados a la calidad de su gestión (Guerrini & Romano, 2014). En este contexto, múltiples investigaciones se centran en evaluar la eficiencia de las empresas que otorgan el servicio de agua potable, como por ejemplo Ablanado-Rosas, Guerrero-Campanur, Olivares-Benitez, Sánchez-García y Nuñez-Ríos (2020); Molinos-Senante, Maziotis, Sala-Garrido y Mocholi-Arce (2023); Morán-Valencia, Flegl y Güemes-Castorena (2023), y Tourinho, Santos, Pinto y Camanho (2022), entre otros. Así, el análisis de la eficiencia se ha vuelto una tarea importante en la búsqueda de sostenibilidad en la provisión de este recurso.

En Ecuador, el agua es considerada como un derecho humano constitucional a partir del año 2008, y su gestión se restringe a una de tipo pública o comunitaria (Martínez & Salazar, 2021). Los gobiernos municipales en el país operan bajo cuatro tipos de modalidad para la gestión del servicio de agua potable: de forma directa municipal (61.5 %); empresas públicas municipales autónomas (32.1 %); empresa pública mancomunada o regional (5.9 %), y operador privado (0.5 %) (INEC, AME, & ARCA, 2018). La responsabilidad de la gestión de agua potable en el país está a cargo de los 221 gobiernos municipales, distribuidos en cuatro regiones geográficas: Costa, Sierra, Amazonía y Galápagos (Wingfield, Martínez-Moscoso, Quiroga, & Ochoa-Herrera, 2021).

Ecuador es un país que se caracteriza por la existencia de heterogeneidad en el nivel de ingresos entre gobiernos municipales y en el nivel de densidad poblacional, además de existir una marcada

desigualdad de recursos hídricos entre regiones geográficas. Esta configuración, en términos económicos, demográficos, naturales y de ubicación, probablemente afecta la eficiencia de los proveedores. En efecto, una revisión general de los indicadores de provisión y calidad de agua en el Ecuador muestra importantes brechas entre gobiernos municipales, lo cual indica que la eficiencia no es homogénea (ARCA, 2022). Por ello, es fundamental abordar estas heterogeneidades, y buscar soluciones sostenibles para garantizar el acceso universal, equitativo y asequible al recurso hídrico en todo el país.

Una herramienta útil para la supervisión de la eficiencia es la regulación “*Yardstick*”, pues permite comparar la eficiencia entre las unidades productivas, convirtiéndose así en un insumo para los reguladores y tomadores de decisiones (Cetrulo, Ferreira, Marques, & Malheiros, 2020). La herramienta fomenta la competencia y transparenta las tendencias del desempeño, lo que conduce a mejorar la eficiencia (Murwirapachena, Mahabir, Mulwa, & Dikgang, 2019). En el Ecuador, el análisis de la eficiencia del sector de provisión de agua potable es todavía poco explorado, lo que subraya la necesidad de prestarle mayor atención, considerando los principales factores que influyen en ella.

El estudio tiene como objetivo calcular la eficiencia de la provisión de agua potable en Ecuador, prestando especial atención a los factores determinantes de su variabilidad, como el tipo de gestión, y las condiciones económicas, demográficas y geográficas, naturales y operativas. Para lograr este propósito se utiliza el método paramétrico análisis de frontera estocástica (SFA, por sus siglas en inglés), el cual permite medir la eficiencia, así como identificar los determinantes que la afectan. Para la estimación de la eficiencia se emplea la base de datos de

la “Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales” publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en 2019. Con ello se busca contribuir a la literatura empírica sobre eficiencia en el sector de agua potable para un país en desarrollo, al aportar información complementaria a los estudios existentes en Ecuador, que a menudo se basan en indicadores tradicionales y que algunos autores consideran incompletos al no tomar en cuenta el enfoque de la frontera de posibilidades de producción (Coelli, Estache, Perelman, & Trujillo, 2003).

Para medir la eficiencia se requiere establecer cuándo se considera que una unidad productiva es eficiente. En términos económicos, se considera que una unidad productiva es eficiente si tiene un comportamiento optimizador (Ferro, Lentini, & Mercadier, 2010). En este contexto, la eficiencia se divide en dos tipos: asignativa y técnica (Farrell, 1957). La primera se relaciona con la capacidad de seleccionar una combinación óptima de insumos dadas los precios o costos relativos y la tecnología disponible (Worthington, 2014). Por otro lado, la eficiencia técnica, desde el enfoque de insumos, se refiere a la capacidad para mantener los mínimos costos o insumos conservando constante el nivel de producción (Ferro *et al.*, 2010). Dado que no se cuenta con información sobre precios relativos de los insumos y considerando la particularidad del sector analizado, el estudio analiza la eficiencia técnica orientado a los insumos. En este sentido, las preguntas de investigación que se plantea son las siguientes: ¿cuál es el porcentaje promedio de costos que los proveedores de agua potable pueden reducir, manteniendo el mismo nivel de producción?, ¿qué factores explican la eficiencia técnica desde el enfoque de insumos?

Una vez definida la eficiencia se debe establecer la forma de medición o cálculo. Desde el trabajo seminal de Farrell (1957), la eficiencia se mide a través de la frontera de posibilidades de producción, que representa las combinaciones de producción técnicamente eficientes en un momento dado (Coelli, Rao, O'Donnell, & Battese, 2005). Existen dos enfoques para construir esta frontera: métodos no paramétricos y paramétricos (Koengkan *et al.*, 2022). Los primeros construyen la frontera eficiente a partir de las unidades productivas eficientes y luego comparan cada empresa contra esta frontera (Benito, Faura, Guillamón, & Ríos, 2019); cuanto más cerca de la frontera se ubique la unidad productiva, mayor será la eficiencia (Coelli *et al.*, 2005). El segundo método considera que las desviaciones de la unidad productiva de su frontera de posibilidades de producción se explican por dos elementos: aleatoriedad e ineficiencia, lo que significa que la simple desviación de la frontera no se atribuye a la ineficiencia (Tan, Choi, Wang, & Huang, 2020). Cada enfoque tiene sus especificidades, ventajas y desventajas, y han sido aplicados por múltiples estudios en el sector de agua potable. En esta investigación se aplica el método de análisis de frontera estocástica (técnica paramétrica) debido a que permite identificar la eficiencia más allá de una desviación de la frontera de posibilidades de producción, pues incluye un término de error para capturar los efectos no observados que la afectan y es más robusto frente a valores atípicos que los métodos no paramétricos (Coelli *et al.*, 2005).

El documento está estructurado en cinco secciones. La sección dos ofrece una revisión de los principales estudios empíricos enfocados en la identificación de los posibles determinantes de la eficiencia en el sector de agua potable. En la sección tres se describe la metodología utilizada

para comprobar las hipótesis de investigación y se detallan los datos empleados. Los resultados obtenidos, así como la discusión y conclusiones, se presentan en las secciones cuatro y cinco, respectivamente.

Estado del arte

Actualmente existe un creciente interés en la investigación de los factores que explican la eficiencia en los proveedores de agua potable. Dicho interés se ha centrado en aspectos económicos, demográficos, operativos, de calidad, naturales, de gobernabilidad y institucionales, entre otros. En esta línea se encuentran estudios como los de Benito *et al.* (2019); Molinos-Senante, Maziotis y Villegas (2020); Molinos-Senante *et al.* (2023); Morán-Valencia *et al.* (2023); Romano, Salvati y Guerrini (2018), y Zheng, Zhang y Xing (2018), entre otros.

Dentro de los determinantes económicos, Ma, Shi y Chou (2016) muestran una relación positiva entre la eficiencia y los ingresos per cápita de los ciudadanos. Un nivel económico elevado puede aumentar los recursos disponibles para invertir en infraestructura o instalaciones de los proveedores del servicio de agua potable, lo que mejora la calidad y eficiencia al respecto (See, 2015). Sin embargo, Benito *et al.* (2019) encuentran una relación negativa en las pequeñas municipalidades, donde proveedores con mayores recursos podrían estar menos preocupados por alcanzar la eficiencia. Por otro lado, Song, Wang y Zeng (2018) argumentan que durante las primeras etapas del crecimiento económico, la eficiencia puede verse afectada por posibles desperdicios de los recursos naturales. No obstante, después de alcanzar cierto punto, en

donde los recursos naturales se vuelven escasos, la eficiencia puede mejorar, al adoptar mejores prácticas de producción que permitan ahorrar recursos.

La densidad de clientes es un factor demográfico que también influye en la eficiencia (Song *et al.*, 2018). Una baja densidad refleja menos personas atendidas por kilómetro de extensión de la red y en consecuencia el proveedor de servicios puede parecer menos eficiente (See, 2015). Estudios como el de Guerrini, Romano y Leardini (2018), en Italia, y Song *et al.* (2018), en China, han encontrado que la eficiencia de las empresas de agua mejora en lugares con alta densidad poblacional. En particular, Guerrini, Romano y Campedelli (2013) descubrieron una relación positiva entre la densidad de clientes y la eficiencia, pues las empresas pueden suministrar agua potable a varios clientes en un mismo kilómetro de red, aprovechando las economías de escala. Sin embargo, una relación negativa puede surgir si existen problemas de congestión, lo que aumentaría los costos del servicio y disminuiría la eficiencia (Benito *et al.*, 2019). Incluso la relación puede ser de tipo U invertida, ya que después de cierto punto, los costos se pueden incrementar cuando el proveedor de tamaño grande ofrece el servicio en áreas fuera de su zona de suministro (Horn & Saito, 2011).

En relación con los factores operativos y de calidad, el volumen o porcentaje de pérdidas de agua es un indicador comúnmente utilizado para explicar la eficiencia del servicio, y representa la proporción de agua suministrada que no es facturada (See, 2015). Este indicador puede tener un efecto negativo en la eficiencia del servicio, tal como Molinos-Senante, Donoso, Sala-Garrido y Villegas (2018) encontraron en las empresas chilenas para el año 2014, pues influye en un incremento de costos. No

obstante, Guerrini *et al.* (2018) demostraron que la reducción del porcentaje de pérdida de agua no necesariamente aumenta la eficiencia de las empresas italianas sino que la disminuye, argumentando que los gastos por reparaciones de fugas podrían resultar mayores que el beneficio de ahorro por dicha reducción. Otras variables, como medidas de la calidad del servicio (p. ej., quejas o reclamos) y nivel de bombeo promedio se suelen usar como proxies del factor de calidad (Estruch-Juan, Cabrera, Molinos-Senante, & Maziotis, 2020; See, 2015; Villegas *et al.*, 2019; Walker, Williams, & Styles, 2020; Worthington, 2014). Un mayor nivel de bombeo se asocia con una mayor ineficiencia, por el mayor uso de energía y, en consecuencia, un incremento en los costos de acuerdo con los hallazgos de Villegas *et al.* (2019). En el caso de quejas y reclamos, una relación negativa, aunque no significativa, fue encontrado por Molinos-Senante y Maziotis (2018); este resultado se explica ya que la empresa enfrenta mayores costos para atender las quejas y reclamos.

La disponibilidad de fuentes de agua (subterránea, superficial, importada) constituye el factor natural más utilizado como determinante de la eficiencia en la provisión de agua potable de acuerdo con estudios como los de Marques, Berg y Yane (2014); Villegas *et al.* (2019), y Walker *et al.* (2020). Según estos últimos, el uso de un mayor número de fuentes empleados para la extracción del agua influye negativamente en la eficiencia debido a que se puede requerir mayores costos (p. ej., materiales, tuberías e infraestructura). Además, el costo marginal del uso de agua de fuente superficial puede ser mayor en comparación con el costo por el uso de agua proveniente de fuente subterránea debido a la necesidad de mayor tratamiento potabilizador por la existencia de sedimentos (Villegas *et al.*, 2019). Cabe señalar que este factor no está

bajo el control absoluto de los administradores, pues depende de los recursos naturales disponibles en la localidad, por lo que los resultados de este factor deben considerarse con cautela (Walker *et al.*, 2020). Los factores meteorológicos son analizados por escasos estudios. Por ejemplo, See (2015) encuentra que altas temperaturas pueden inducir el consumo excesivo del agua, lo cual provoca problemas de sequía y deriva en mayores costos de provisión del servicio de agua potable. Por otro lado, la ubicación geográfica influye en la eficiencia de las empresas, según lo evidencia el estudio de Romano y Guerrini (2011) en el contexto italiano, lo que indica posibles heterogeneidades entre regiones.

El factor institucional/gobernanza incluye el tipo de propiedad de la unidad productiva (pública, privado, mixta). Con base en cierta evidencia empírica, las plantas gestionadas por empresas de propiedad mixta son más eficientes que aquellas totalmente privadas (Romano *et al.*, 2018). Dentro de este factor, Benito *et al.* (2019) estudiaron la ideología y fuerza política, y encontraron que no existen efectos de la ideología, pero sí una relación positiva entre la fuerza política del gobierno local con el nivel de eficiencia. Los autores argumentan que una mayor fuerza política puede generar mayor resistencia ante presiones y facilidad para imponer restricciones presupuestarias, lo que podría incrementar la eficiencia en la provisión del servicio.

Tras revisar la literatura y considerando la disponibilidad de datos, se plantean las siguientes hipótesis de investigación para el caso de Ecuador, que cuenta con distintos tipos de gestión pública, regiones, y heterogeneidades económicas, demográficas y naturales:

H1: la eficiencia en la provisión del agua potable varía según la región geográfica y los tipos de gestión.

H2: existe una relación tipo U invertida entre el valor agregado bruto per cápita —como proxy de los ingresos per cápita— y la eficiencia de los proveedores de servicios de agua potable.

H3: la densidad poblacional tiene una relación en forma de U invertida con la eficiencia en la provisión del servicio de agua potable, y es menos eficiente en áreas con baja densidad y en zonas muy congestionadas.

H4: los proveedores con mayor número de fuentes de extracción de agua son menos eficientes que aquellos con menos fuentes.

H5: el uso de fuentes de agua subterránea influye de modo positivo en la eficiencia de la provisión del servicio de agua potable.

H6: los proveedores de agua potable que reciben un mayor número de quejas por conexión son menos eficientes.

H7: el monitoreo de calidad en el servicio de agua potable influye de forma positiva en la eficiencia.

H8: los proveedores que tienen estación de bombeo son menos eficientes en comparación con aquellos que no la tienen.

H9: un mayor número de días de instalación de agua potable puede influir de forma negativa en la eficiencia.

Materiales y métodos

Para la aplicación de SFA es necesario definir la forma funcional y el tratamiento de la heterogeneidad no observada (Guerrini *et al.*, 2018). Al asumir que la unidad productiva tiene como objetivo la provisión del servicio de agua potable minimizando los costos o el uso de los *inputs*, la

función de la frontera estocástica de costos se puede escribir como (Mendes & Rebelo, 1999):

$$C_i = C(y_i, w_i, \beta) \exp(v_i - u_i) \quad (1)$$

Donde:

C_i = representa los costos totales operativos de la unidad productiva i ($i = 1, \dots, n$)

$C(y_i, w_i, \beta)$ = es una función del proceso de producción y representa la solución del problema $\text{Min}\{w'x: y = g(x)\}$, el cual minimiza los costos (suma del producto entre los precios de los insumos (w) y los insumos (x)), para alcanzar un nivel de *outputs* determinado (y) (Molinos-Senante *et al.*, 2018)

β = es el vector de parámetros

v_i = representa el término de error, para el que se asume una distribución $v_i \sim iid N(0, \sigma_v^2)$

u_i = es una variable no negativa que mide la ineficiencia técnica de costos, ya que mide la distancia entre el costo observado y la frontera eficiente (Filippini, Hrovatin, & Zorić, 2008; Murwirapachena *et al.*, 2019)

La distribución utilizada para u_i en estudios que miden la eficiencia en el sector agua es de tipo exponencial (Estruch-Juan *et al.*, 2020), de media normal (Ferro & Mercadier, 2016; Filippini *et al.*, 2008; Molinos-Senante & Maziotis, 2018) y distribución normal truncada (Ferro, Lentini, Mercadier, & Romero, 2014).

Entre las formas funcionales utilizadas en la literatura para la frontera estocástica de costos se encuentran la función Cobb-Douglas (Estruch-Juan *et al.*, 2020), y la logarítmica lineal o translogarítmica (Molinos-Senante & Maziotis, 2018). No existe consenso en la forma funcional que debe utilizarse, sin embargo, en casos donde el número de observaciones es bajo, la función Cobb-Douglas suele ser empleada debido al bajo número de grados de libertad que requiere frente a una función translog, a pesar de no constituir una forma funcional muy flexible (Estruch-Juan *et al.*, 2020; Filippini *et al.*, 2008).

En esta investigación se utiliza la distribución exponencial para u_i debido a que presenta una cola larga que permite modelar de mejor manera los valores extremos del puntaje de eficiencia (Coelli *et al.*, 2005). Con respecto a la función de la frontera estocástica, el estudio aplica la función translogarítmica por su flexibilidad y su capacidad de capturar interacciones complejas entre los *inputs* (Cullmann, 2012). La frontera de costos a estimar se representa mediante la Ecuación (2), donde el costo total de proveer los servicios (C_i) está en función de los j -ésimos *inputs* (x_{ij}) utilizados para la provisión del servicio y del nivel de producción (y_i). En la Ecuación (2) se utilizan los insumos (x_{ij}) en lugar de los precios (w), ya que no se dispone de dicha información:

$$\ln C_i = \beta_0 + \beta_1 \ln x_{i1} + \beta_2 \ln x_{i2} + \dots + \beta_k \ln x_{ik} + \frac{1}{2} \sum \sum \gamma_{jl} \ln x_{ij} * \ln x_{il} + \delta \ln y_i + \sum \mu_j \ln x_{ij} * \ln y_i + \frac{1}{2} \theta \ln y_i * \ln y_i + v_i - u_i \quad (2)$$

De acuerdo con la Ecuación (2), los costos (C_i), los j -ésimos *inputs* (x_{ij}) y la producción (y_i) se encuentran medidos en logaritmos. La función translog incluye los coeficientes γ_{jl} y μ_j para medir los efectos interacción entre los *inputs*, y entre los *inputs* y la producción, respectivamente.

Para casos donde la estructura de datos es longitudinal existen modelos que tratan la heterogeneidad invariante en el tiempo como ineficiencia, y aquellos que tratan de forma separada ambos componentes. Este último tratamiento se utiliza con frecuencia en la literatura empírica actual en el análisis de la eficiencia de costos en el sector de agua (p. ej., Estruch-Juan *et al.*, 2020; Molinos-Senante & Maziotis, 2018) debido a que permite identificar la ineficiencia que puede ser controlada por la unidad productiva y la heterogeneidad invariante en el tiempo que no está al alcance de la unidad (Sun, Luo, Huang, & Ouyang, 2017). No es posible abordar la heterogeneidad invariante no observada en este estudio, ya que los datos disponibles son de corte transversal.

Una vez estimada la Ecuación (2) se calcula el nivel de la eficiencia técnica utilizando el método propuesto por Battese y Coelli (1988), que se expresa como:

$$E_i = \exp(-\hat{u}_i) \quad (3)$$

Donde E toma valores entre 0 y 1. Cuando $E = 1$, la unidad productiva se considera técnicamente eficiente; mientras que si es menor a la 1, la unidad se encuentra por debajo de la frontera eficiente. Además, $\hat{u}_i = \hat{E}(u_i|\varepsilon_i)$ y $\varepsilon_i = v_i - u_i$ (Sun *et al.*, 2017). La Ecuación (2) supone que v_i y u_i son homocedásticos; la existencia de heterocedasticidad en v_i

podría conducir a estimaciones sesgadas, mientras que la heterocedasticidad de u_i conduce a estimaciones engañosas del nivel de eficiencia técnica (Murwirapachena *et al.*, 2019). Para abordar el problema se estiman errores estándar robustos para v_i y se toman en cuenta los factores que explican la variación de u_i (Tan *et al.*, 2020). Según Battese y Coelli (1995), la heterocedasticidad de u_i se maneja estimando de forma simultánea la función de costos y la regresión del término de ineficiencia (Ecuación (4)):

$$u_i = \alpha_0 + Z_i\theta + \epsilon_i \quad (4)$$

Donde:

Z_i = representa los factores que se espera que expliquen la variaciones de la varianza de u_i

θ = es el vector de coeficientes que muestra el efecto de las covariables

ϵ_i = es el término de error aleatorio (Tan *et al.*, 2020)

Para identificar los determinantes de la eficiencia técnica de los proveedores de agua potable se prueba la hipótesis nula (H_0), que $\theta = 0$ para cada covariable. Si se rechaza H_0 a un nivel de significancia del 1, 5 o 10 %, se concluye que las variables exógenas Z_i influyen en el nivel de eficiencia técnica.

Datos

La investigación emplea la base de datos 2019 denominada “Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales” publicado por el INEC. La unidad de análisis son los proveedores del servicio en las municipalidades del Ecuador. La base provista contiene información de 221 municipalidades, no obstante, se analizan 169 unidades productivas debido a que no todas presentan información referente a los costos unitarios de producción de agua potable (40 observaciones). Además, para conseguir resultados más robustos, se eliminaron del análisis aquellas unidades que se encuentran a más de 2.5 desviaciones del promedio de la variable volumen de agua suministrada (12 observaciones).

La muestra analizada está constituida por un 47.9 % de proveedoras de agua ubicadas en la región Sierra, mientras que un 30.2 y 20.1 % corresponden a la Costa y Oriente, respectivamente; la diferencia opera en Galápagos. De acuerdo con el tipo de gestión, la mayoría (62.13 %) es gestionada directamente por un departamento municipal, mientras que el 34.32 % lo hace a través de una empresa pública municipal; el resto utiliza otros tipos de gestión, sea mancomunada o privada (3.55 %).

Un análisis de información perdida utilizando el test de Fisher de independencia refleja que no existe aleatoriedad en los datos perdidos, lo cual indica que la información perdida se relaciona con la región geográfica y el tipo de gestión. Por lo tanto, los resultados solo se pueden inferir a las unidades productivas de la muestra en cuestión.

Especificación de las variables y descriptivos

En este apartado se describen las variables utilizadas para la estimación de la frontera de costos, así como las variables exógenas (\mathbf{z}) que explican la variación de la eficiencia (Tabla 1). La variable cu representa el costo unitario por metro cúbico producido y es la variable dependiente de la frontera de costos. La superficie atendida por conexión (k , como proxy de la longitud de la red) y el número de empleados por conexión ($etcap$) son los insumos capital y trabajo utilizados por la unidad i para producir un determinado volumen de agua por conexión ($vapc$). La variable de producción $vapc$ se incluye como medida de *output* del sistema de abastecimiento de agua.

Tabla 1. Variables utilizadas para medir el nivel de eficiencia.

Variable	Descripción	Forma de medición	Unidad de medida
cu	Costo unitario	Costo unitario por metro cúbico producido	USD/m ³
k	Superficie por conexión	Superficie atendida por el proveedor por conexión	km ² / núm. de conexiones
$etcap$	Número de empleados	Empleados totales por conexión de agua potable	Núm. de empleados / núm. de conexiones
$vapc$	Volumen de agua suministrada	Volumen promedio mensual de agua (tratada y no tratada) que va a la red por conexión	m ³ mensual/ núm. de conexiones

Fuente: elaboración propia con base en Benito *et al.* (2019), Estruch-Juan *et al.* (2020) y Romano *et al.* (2018).

De acuerdo con la Tabla 2, la mediana del costo unitario en las unidades productivas que funcionan en la región Costa es mayor que la mediana del costo unitario en la Sierra y Amazonía. Esto denota una posible ineficiencia de los proveedores de esta región, lo que podría explicarse por la superficie por conexión atendida, misma que es considerablemente menor en relación con las otras regiones. La Figura 1 corrobora estos resultados. Se analiza la mediana, pues el valor promedio del costo unitario del metro cúbico puede estar influenciado por valores extremos, lo que la convertiría en una medida no adecuada de comparación.

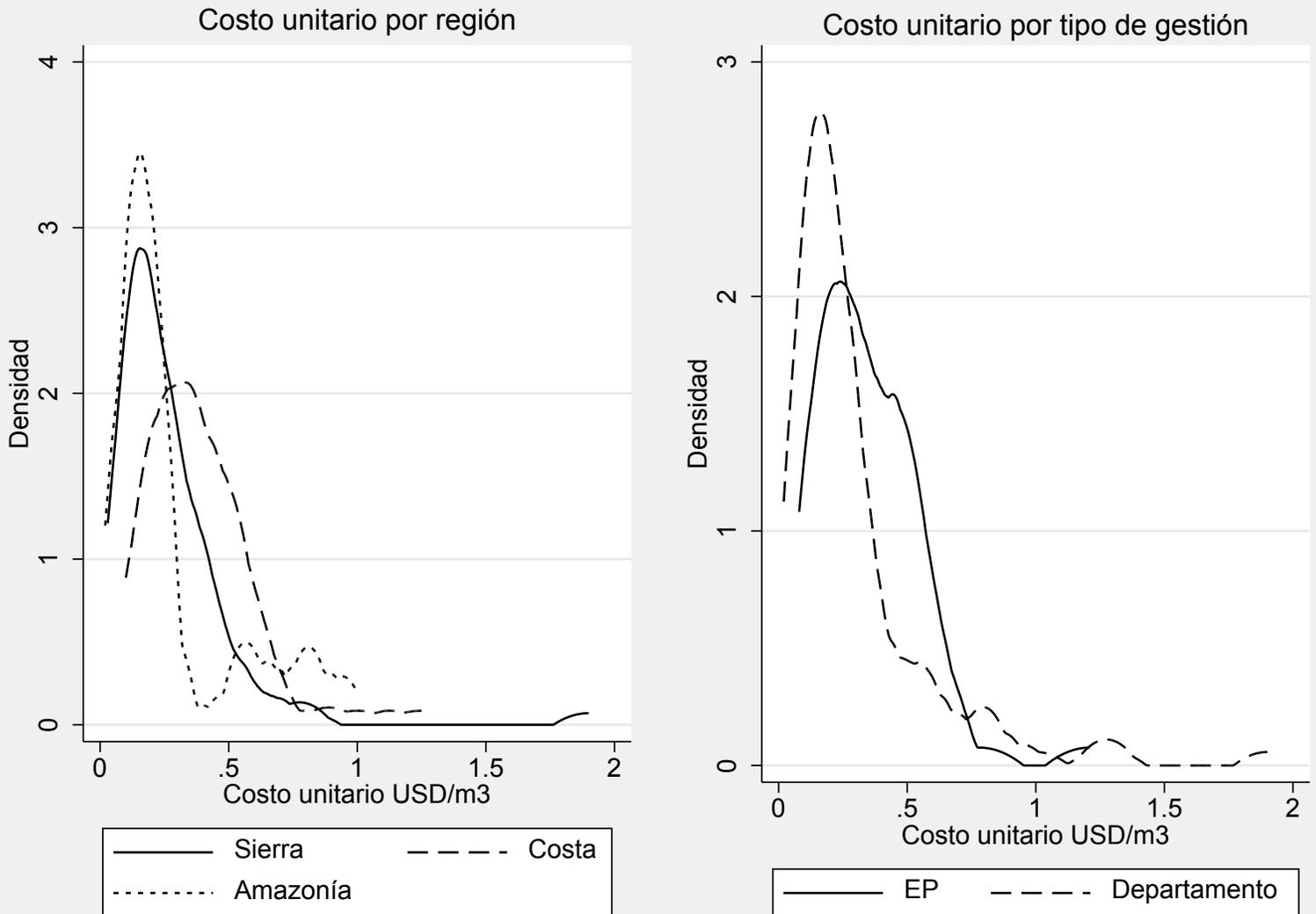


Figura 1. Costo unitario por metro cúbico por región y tipo de gestión.
Fuente: elaboración propia con base en la “Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales” (INEC, 2019).

Tabla 2. Descriptivos de variables usadas para la estimación de la frontera de costos.

Variable	Muestra completa			Región geográfica			Tipo de gestión		
				Sierra (47.93 %)	Costa (30.18 %)	Amazonía (20.12 %)	EP autónoma (34.32 %)	Dep. municipal (62.13 %)	
	Obs	Media	Desv. est.	Mediana					
<i>cu</i>	169	0.41	0.55	0.25	0.20	0.34	0.20	0.32	0.22
<i>k</i>	169	0.64	1.59	0.16	0.14	0.10	1.10	0.10	0.34
<i>etcap</i>	169	0.02	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>vapc</i>	169	33.77	21.48	30.14	27.46	32.34	38.17	29.60	30.92

Fuente: elaboración propia con base en la "Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales" (INEC, 2019).

Por tipo de gestión, se observa que los proveedores gestionados directamente a través del departamento municipal utilizan los insumos de capital aproximadamente 3.4 veces más que una EP autónoma, de acuerdo con el valor de la mediana. Si se analiza la distribución del costo unitario por metro cúbico (Figura 1) y la mediana del costo unitario, las unidades que operan a través de un departamento municipal presentan menores costos unitarios en relación con las que funcionan como empresas autónomas.

Para analizar los determinantes de la eficiencia se toma al puntaje de eficiencia técnica calculada a través del método SFA como variable

dependiente. Las variables explicativas se establecieron según la disponibilidad de datos y de acuerdo con la revisión de literatura. En la Tabla 3 se describe la forma de medición de cada variable. Factores económicos, sociodemográficas, operativos, naturales, de gobernabilidad (tipo de gestión) y la ubicación geográfica se incluyeron en la Ecuación (4). En general, existe una correlación baja entre las variables exógenas (Tabla 4), lo que resulta adecuado para el análisis, ya que se evita el problema de multicolinealidad.

Tabla 3. Descripción de las variables explicativas.

Variable	Descripción
<i>lvab</i>	Logaritmo del valor agregado bruto (VAB) per cápita
<i>lden</i>	Personas servidas por conexión
<i>lfuentes</i>	Logaritmo del número de fuentes de agua
<i>sub</i>	Proporción de agua extraída subterránea
<i>quejas</i>	Número de quejas por conexión
<i>monitoreo</i>	Dummy = 1 si existe monitoreo de calidad
<i>bombeo</i>	Dummy = 1 si cuenta con estación de bombeo
<i>ep</i>	Dummy = 1 si es empresa pública
<i>sierra</i>	Dummy = 1 si está en la región Sierra
<i>instalación</i>	Días de instalación

Fuente: elaboración propia con base en la "Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales" (INEC, 2019).

Tabla 4. Correlaciones entre variables explicativas.

Variables		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
(1)	<i>lvab</i>	1									
(2)	<i>lden</i>	0.114	1								
(3)	<i>lfuentes</i>	0.162	-0.034	1							
(4)	<i>sub</i>	0.111	0.082	0.276	1						
(5)	<i>quejas</i>	0.171	0.049	-0.008	0.176	1					
(6)	<i>monitoreo</i>	-0.106	-0.138	-0.218	-0.186	0.042	1				
(7)	<i>bombeo</i>	0.162	0.041	0.190	0.310	0.170	0.079	1			
(8)	<i>alcance</i>	-0.038	0.032	0.069	-0.047	0.030	0.014	-0.154	1		
(9)	<i>ep</i>	0.252	0.140	0.060	0.156	0.200	0.113	0.245	0.104	1	
(10)	<i>sierra</i>	-0.091	-0.208	0.142	-0.023	-0.050	0.091	-0.268	0.164	-0.044	1
(11)	<i>instalación</i>	0.109	-0.012	-0.020	-0.067	-0.044	0.131	0.043	0.048	0.254	-0.183

Fuente: elaboración propia con base en la "Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales" (INEC, 2019).

El análisis descriptivo permitió identificar importantes heterogeneidades en los factores explicativos de la eficiencia, según la región geográfica y el tipo de gestión (Tabla 5). De los resultados preliminares, se resalta una mayor ineficiencia en la región Costa, que se explica por las siguientes razones: 1) mayores niveles de quejas; 2) menor porcentaje de unidades productivas que realizan monitoreo en la calidad; 3) mayor número de unidades que requieren de estaciones de bombeo, y 4) mayor número de días de instalación para la conexión de

agua potable, en tanto estas situaciones suelen requerir mayores recursos.

Tabla 5. Descriptivos de las variables independientes.

Variable	Muestra completa			Región geográfica			Tipo de gestión	
	Obs	Media	Desv. est.	Sierra (47.93 %)	Costa (30.18 %)	Amazonía (20.12 %)	EP autónoma (34.32 %)	Dep. municipal (62.13 %)
<i>lvab</i>	169	0.965	0.557	0.941	1.054	0.808	1.164	0.841
<i>lden</i>	169	1.477	0.159	1.439	1.524	1.507	1.503	1.464
<i>lfuentes</i>	167	1.138	0.973	1.260	1.002	1.110	1.201	1.135
<i>sub</i>	168	0.258	0.388	0.252	0.357	0.090	0.337	0.221
<i>quejas</i>	149	0.019	0.074	0.015	0.032	0.009	0.038	0.007
<i>monitoreo</i>	169	0.876	0.330	0.901	0.804	0.912	0.914	0.857
<i>bombeo</i>	169	0.385	0.488	0.259	0.667	0.235	0.517	0.286
<i>ep</i>	169	0.343	0.476	0.346	0.490	0.118	1.000	0.000
<i>sierra</i>	169	0.479	0.501	1.000	0.000	0.000	0.483	0.505
<i>instalación</i>	169	6.047	7.848	4.568	8.529	6.029	8.448	4.752

Fuente: elaboración propia con base en la "Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales" (INEC, 2019; BCE, 2019).

Por tipo de gestión (de acuerdo con la Tabla 5,) las EP autónomas son las que muestran un mayor número de quejas de los usuarios, de empleo de estaciones de bombeo y un mayor número de días requeridos para la instalación de una conexión.

Resultados y discusión

La Tabla 6 muestra los resultados de la estimación de la frontera de costos. De acuerdo con el estadístico de Wald, el modelo en su conjunto explica los costos de producción (p -value = 0.000). Los hallazgos evidencian que un mayor uso de empleados por conexión (*letcap*) tiende a incrementar los costos unitarios por metro cúbico (p -value = 0.005), similar a lo encontrado por Molinos-Senante y Maziotis (2020). Sin embargo, al analizar el efecto de interacción de *letcap* con la variable *lvapc*, se observa que el aumento de los costos producto de un mayor número de empleados tiende a desacelerarse en la medida en que se incrementa el volumen de agua suministrado (p -value = 0.000); este resultado sugiere la existencia de economías a escala, pues el aumento de los costos por la incorporación de nuevos empleados es menor en los proveedores con mayor capacidad de producción. La superficie por conexión (*lk*) y sus interacciones no mostraron efectos significativos en los costos.

Tabla 6. Frontera de costos.

Icu	Coef	Std err. robusto	
<i>lk</i>	-0.229	0.258	
<i>letcap</i>	37.298	13.263	***
<i>lvapc</i>	-1.621	0.239	***
<i>lk*letcap</i>	0.494	0.779	
<i>lk*lvapc</i>	0.018	0.075	
<i>letcap*lvapc</i>	-10.094	3.839	***
<i>lvapc*lvapc</i>	0.265	0.068	***
<i>costa</i>	0.206	0.150	
<i>amazonía</i>	0.271	0.235	
<i>región insular</i>	1.746	0.185	***
<i>EP. Autónoma</i>	0.348	0.111	***
Vsigma cons	-1.081	0.152	***
E(sigma_u)	0.386		
sigma_v	0.583		***
Núm. de observaciones	147.000		
Log pseudo likelihood	-153.797		
Wald chi	646.710		
Prob > chi2	0.000		***

Nota: errores estándar en paréntesis; *pvalue*: $p < 0.001$ ***, $p < 0.05$ ** , $p < 0.1$ *.

Fuente: elaboración propia con base en la “Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales” (INEC, 2019; BCE, 2019).

Por otro lado, el volumen de agua suministrada por conexión (*vapc*) muestra una relación no lineal en forma de U en relación con los costos unitarios, ya que el coeficiente asociado con la variable al cuadrado es positivo ($p\text{-value} = 0.000$). Esto significa que a partir de cierto valor umbral de *vapc*, un aumento de esta variable tiene como consecuencia un incremento en los costos. Esto implica que los proveedores aún pueden beneficiarse de las economías de escala, pero cada vez a un ritmo decreciente.

Para capturar el efecto de la región geográfica sobre los costos se utilizaron tres variables *dummy*, donde la categoría base la constituye la región Sierra. En este sentido, si bien todas las regiones muestran mayores costos unitarios en relación con la región Sierra, solo en el caso de la región Insular este resultado fue estadísticamente significativo ($p\text{-value} = 0.000$), hallazgo esperado dado que esta región soporta costos y precios a nivel de toda la economía mucho mayores a los del resto del país.

Finalmente, el modelo incorporó una variable *dummy* para las EP autónomas con el fin de controlar los costos de producción según el tipo de gestión de los proveedores de agua potable. Los hallazgos muestran que las unidades que operan bajo una EP autónoma presentan costos unitarios más elevados por metro cúbico en comparación con las unidades gestionadas a través de departamentos municipales ($p\text{-value} = 0.000$). Este resultado podría deberse a que las empresas autónomas enfrentan mayores costos administrativos debido a su autonomía, mientras que los departamentos municipales distribuyen estos costos entre los diversos servicios que brindan.

Tras estimar la frontera de costos, se calcula el puntaje de eficiencia técnica, como se puede observar en la Tabla 7. En promedio, los proveedores de agua potable en Ecuador exhiben una eficiencia técnica del 72.04 %, porcentaje similar a los hallado por Molinos-Senante, Maziotis y Sala-Garrido (2022), quienes emplearon el mismo método para medir la eficiencia en el sector de agua. La proporción de eficiencia implica que las unidades productivas pueden disminuir sus costos en un 27.96 % y aún mantenerse dentro del conjunto factible de producción.

Tabla 7. Nivel de eficiencia técnica.

Muestra	Obs	Mean (%)	Desv. est.	Min	Max
<i>Sierra</i>	67	73.31	0.2065	0.0505	0.9349
<i>Costa</i>	38	71.56	0.1812	0.2597	0.9213
<i>Amazonía</i>	21	67.78	0.2749	0.0538	0.9319
<i>EP autónoma</i>	44	74.41	0.1754	0.0707	0.9213
<i>Dep. municipal</i>	81	70.68	0.2287	0.0505	0.9349
Total	129	72.04	0.2098	0.0505	0.9349

Fuente: elaboración propia con base en la "Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales" (INEC, 2019; BCE, 2019).

Aunque se observan diferencias en el porcentaje promedio de eficiencia entre regiones y tipos de gestión, el test de Mann-Whitney indica que estas diferencias no son estadísticamente significativas, incluso

al considerar un nivel de significancia del 10 %. Este resultado se ve respaldado por la Figura 2, donde las distribuciones muestran un comportamiento similar entre las distintas categorías comparadas. Esto sugiere que no hay suficiente evidencia para confirmar la hipótesis H1, que plantea diferencias significativas en la eficiencia entre regiones o tipos de gestión para el periodo analizado.

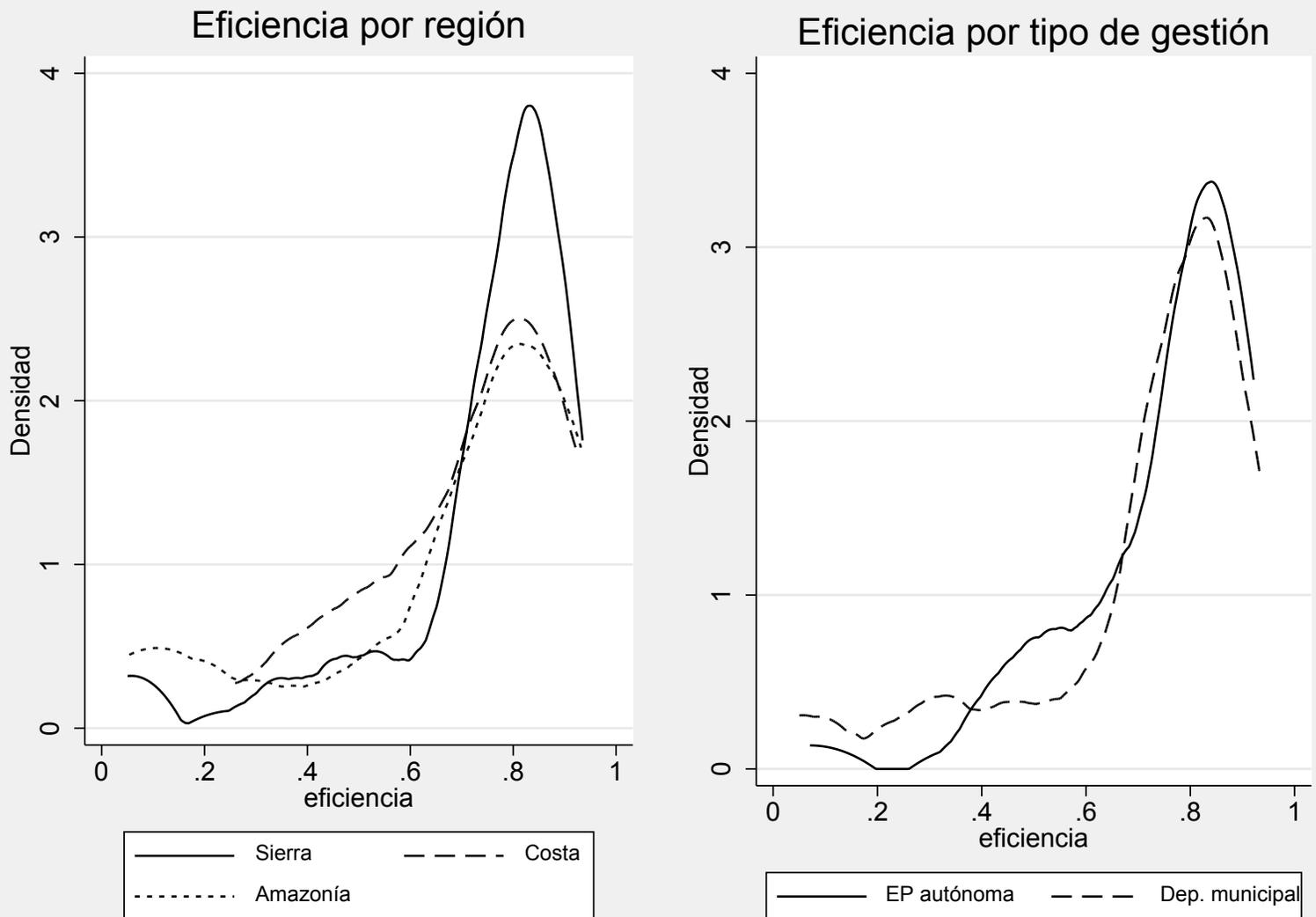


Figura 2. Distribución de la eficiencia. Fuente: elaboración propia con base en la “Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales” (INEC, 2019; BCE, 2019).

Sin embargo, en cuanto a la región geográfica, es relevante destacar que existe una mayor concentración de empresas menos

eficientes en la Costa en comparación con la Sierra, ya que la cola izquierda de la distribución de la región Costa muestra una mayor densidad. Este hecho se puede atribuir a los altos costos unitarios en la Costa en relación con la Sierra debido al bombeo necesario para la distribución de agua potable, ya que el relieve de esta área es predominantemente plano. Por otro lado, en la región de la Sierra, la distribución de agua no requiere tanto bombeo debido a su topografía montañosa, lo que podría resultar en una mayor eficiencia en comparación con la región costera.

Además, los resultados sugieren que no existen ventajas evidentes al operar como una empresa pública (EP) autónoma en comparación con la gestión a través de un departamento municipal, incluso teniendo en cuenta la autonomía que posee la EP autónoma. Es probable que esto se explique por los mayores costos (Figura 1) asociados con las EP autónomas, ya que a menudo operan en áreas que requieren bombeo. Sin el bombeo, estas zonas podrían enfrentar problemas de suministro continuo de agua. En este contexto, la eficiencia que podría resultar por la autonomía que dispone una EP autónoma se compensa con una menor eficiencia por mayores costos que enfrenta, haciendo que no exista diferencias significativas entre los tipos de gestión de las unidades analizadas.

Las principales aportaciones del estudio residen en el análisis de cómo la eficiencia técnica en la provisión de agua potable es influenciada por el tipo de gestión y la región geográfica dentro del contexto ecuatoriano. En particular, los hallazgos revelan que a pesar de las expectativas no existen diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia técnica entre los proveedores de agua gestionados por

empresas públicas autónomas y aquellos operados por departamentos municipales; esto sugiere que la autonomía de gestión, por sí sola, no garantiza una mayor eficiencia en el sector en la muestra analizada. Dicha observación es fundamental para la política y planificación del sector, pues indica que otros factores, posiblemente relacionados con la operación y administración específicas, son los que contribuyen a la eficiencia más que la estructura de gestión per se a pesar de la autonomía que pueden tener los diferentes tipos de gestión. Además, la investigación aporta evidencia sobre el impacto de la geografía en la eficiencia, destacando cómo las condiciones regionales presentan desafíos únicos que pueden reflejarse en costos unitarios mayores en comparación con otras regiones. Estos hallazgos amplían la comprensión de las economías de escala, y la relación entre la densidad de clientes y la eficiencia, proporcionando así una base empírica para el desarrollo de estrategias más efectivas de gestión y operación en el sector de agua potable, teniendo en cuenta las peculiaridades regionales y de gestión.

Determinantes del nivel de eficiencia técnica

Es importante tener en cuenta que en los modelos SFA, la interpretación del signo de las covariables debe realizarse de manera inversa para identificar el efecto sobre la eficiencia técnica en costos, pues los coeficientes presentados en los modelos SFA muestran el efecto de las variables exógenas sobre el término u de ineficiencia. Según la Tabla 8, el nivel económico ($lvabpc$) de la localidad tiene una influencia positiva en el nivel de eficiencia técnica ($p = 0.000$), resultado que es congruente con el estudio de Ma *et al.* (2016). No obstante, este efecto es no lineal,

comprobando una relación tipo U invertida de acuerdo con lo planteado en la hipótesis H2. Hallazgo que podría explicarse porque la disponibilidad de mayores recursos económicos puede ser invertida en el sector del agua potable, mejorando inicialmente la calidad del servicio. No obstante, a partir de cierto punto, el incremento en los recursos conduce a una menor eficiencia debido al uso excesivo de recursos innecesarios, como por ejemplo la holgura organizacional. En otras palabras, a medida que se invierten más recursos en el sector puede haber un retorno decreciente en la eficiencia debido a la presencia de ineficiencias organizativas.

Tabla 8. Factores que explican la eficiencia técnica orientado a los costos en la provisión de agua potable.

Variables	Coef	Error estándar robusto	
lvabpc	-4.8295	1.5533	***
lvabpc*lvabpc	1.3496	0.5594	**
ldenc	-63.1693	17.4354	***
ldenc*ldenc	22.4876	6.2078	***
lfuentes	-0.9311	0.5582	*
sub	0.3562	0.9218	
quejas	-8.0522	9.3632	
monitoreo	1.9320	1.7049	
bombeo	2.0123	0.6720	***
instalación	-0.0572	0.0506	
constante	42.9003	12.4195	***
Núm. de obs.	147.0000		
Wald chi	646.7100		
Prob > chi2	0.0000		

Fuente: elaboración propia con base en la "Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales" (INEC, 2019; BCE, 2019).

Un aumento en la densidad de clientes (ldenc) parece sugerir en principio una mejora en la eficiencia técnica, lo que concuerda con estudios previos realizados por Guerrini *et al.* (2013) y Song *et al.* (2018). Sin embargo, al igual que con la variable lvabpc, se observa una relación

no lineal en forma de U invertida, lo cual respalda la hipótesis H3 (p -value = 0.00). Esto indica que la eficiencia técnica puede aumentar con un incremento en el número de usuarios hasta cierto punto. Después de ese punto, un alza adicional en la densidad de clientes puede generar efectos de congestión, lo que lleva a una disminución en la eficiencia. La eficiencia técnica en la prestación de servicios de agua potable puede mejorar al aumentar la densidad de clientes, pero solo hasta cierto límite. Más allá de ese límite, la congestión y sobrecarga en la infraestructura pueden provocar una disminución en la eficiencia; esto resalta la importancia de un equilibrio adecuado entre la densidad de clientes y la capacidad del sistema.

El número de fuentes de extracción tiene un efecto positivo en la eficiencia, aunque solo es significativo al 10 %, hallazgo que es opuesto a lo planteado en la hipótesis H4. Este resultado podría explicarse porque la cantidad de recursos hídricos es heterogénea entre regiones del país, haciendo que las proveedoras requieran de un mayor número de fuentes de extracción para satisfacer la demanda en zonas donde existen pocos recursos hídricos. Por otro lado, no se encontró evidencia suficiente para confirmar las hipótesis H5, H6 y H7, ya que la proporción de agua extraída subterránea (sub), el número de quejas por conexión (quejas) y el monitoreo de calidad no parecen tener un impacto significativo en la eficiencia; hallazgo que evidencia que podría ser más importante disponer del recurso hídrico (*fuentes*) independientemente del tipo de extracción (subterránea o superficial). Respecto al número de quejas, los resultados podrían indicar que la existencia de quejas no necesariamente influye en la eficiencia sino que depende de si la unidad productiva las resuelve o no. Por otro lado, la no significancia del monitoreo de calidad puede

sugerir que no solo se requiere un monitoreo sino también acciones correctivas.

Teniendo en cuenta el factor operativo del bombeo, se observa que este tiene un impacto negativo en la eficiencia del proveedor (p -value = 0.00). Tal hallazgo es consistente con otros estudios, como el de Villegas *et al.* (2019), que respalda la hipótesis H8. El uso del bombeo podría sugerir la necesidad de consumir más energía en comparación con los proveedores que no lo utilizan, lo que conduce a mayores costos y, por lo tanto, a una menor eficiencia. En cuanto a la hipótesis H9, no se encontró evidencia suficiente para confirmarla, pues el número de días de instalación del servicio de agua potable (instalación) no parece afectar la eficiencia, lo que podría explicarse en casos donde el número de días sea influido por factores externos, como la disponibilidad de permisos, la cooperación de los propietarios o las condiciones climáticas.

Dada la complejidad inmersa en la operación de los proveedores de agua potable, los resultados y la discusión presentados sugieren varias explicaciones importantes respecto a las hipótesis planteadas. Estos hallazgos abren caminos para futuras investigaciones, que podrían incluir variables adicionales para verificar y profundizar las relaciones detectadas e interpretaciones realizadas.

Conclusiones

Esta investigación ha llevado a cabo un análisis de la eficiencia técnica en el sector de agua potable en Ecuador utilizando el método de frontera estocástica para el año 2019. Los resultados obtenidos en la muestra estudiada demuestran que los proveedores tienen un potencial para

reducir costos sin afectar el nivel de producción en términos de volumen de agua suministrada.

En cuanto a la representatividad e inferencia, sería conveniente que futuras investigaciones pudieran abarcar todos los cantones de Ecuador para obtener resultados generalizables. Esto permitiría obtener una visión más amplia del sector, observando posibles heterogeneidades entre zonas geográficas, y ayudaría a identificar áreas de mejora y oportunidades de ahorro en la gestión y operación de los proveedores de agua potable en el país. Una limitación de este estudio es el enfoque en datos disponibles, excluyendo variables como clima y costos de insumos debido a la inaccesibilidad de dicha información. Investigaciones subsecuentes podrían ampliar el modelo integrando estos factores, proporcionando así una perspectiva más holística e integral de la eficiencia operativa.

Los puntajes de eficiencia promedio obtenidos mostraron una homogeneidad relativa con respecto al tipo de gestión y la ubicación geográfica. Se encontró que no hay diferencias significativas en los niveles de eficiencia promedio, pues cada región opera considerando sus propias características climáticas y geográficas. Esto sugiere que las diferencias en el entorno local pueden afectar la operación de los proveedores de agua potable, pero no necesariamente su eficiencia general. No obstante, también existe una mayor densidad de proveedores con menor eficiencia en la Costa en relación con las otras regiones.

Factores como el nivel económico de la localidad y la densidad de clientes influyen en la eficiencia de los operadores de agua potable, pero de manera no lineal. De esto se derivan ciertas implicaciones. Un aumento en la densidad de clientes mejora la eficiencia hasta cierto punto, pero para unidades productivas con alta densidad puede surgir un efecto de

saturación o congestión que incremente los costos. Del mismo modo, los recursos financieros disponibles pueden mejorar la eficiencia siempre que se utilicen para incrementar la calidad del servicio. Sin embargo, una alta disponibilidad de recursos junto con posibles holguras organizacionales podría disminuir la eficiencia.

En cuanto al factor operativo, se recomienda que las unidades productivas puedan buscar formas alternativas al uso del bombeo dentro de la operación para brindar el servicio en la medida de lo posible, ya que el bombeo puede requerir mayor energía, haciendo que los costos se incrementen.

Dado que la eficiencia es relativamente homogénea según el tipo de gestión y ubicación geográfica, las políticas públicas deberían centrarse en abordar factores específicos que afectan la eficiencia, como el nivel económico local, la densidad de clientes y el uso del bombeo. Estas políticas podrían incluir: (1) fomentar la inversión en infraestructura y tecnologías que mejoren la eficiencia en la distribución de agua, especialmente en áreas con alta densidad de clientes o donde se requiere bombeo; (2) implementar programas de capacitación y apoyo técnico para mejorar las prácticas de gestión y operación en los proveedores de agua potable; (3) establecer mecanismos de control y seguimiento de los recursos financieros destinados al sector, con el objetivo de minimizar las holguras organizacionales y garantizar una asignación eficiente de los recursos, y (4) promover la cooperación y el intercambio de experiencias entre proveedores de agua potable de diferentes tamaños y regiones, para identificar y adoptar las mejores prácticas del sector.

Finalmente, el análisis realizado hasta ahora se ha centrado en la eficiencia técnica, pero aún hay aspectos adicionales que podrían

contribuir al conocimiento del sector y proporcionar una base sólida para las políticas públicas. Por ejemplo, sería interesante investigar la eficiencia en la escala de los proveedores de servicios de agua potable y determinar si operan con una escala creciente o decreciente. Este enfoque podría brindar información valiosa a los responsables de políticas sobre qué operadores tienen una escala óptima y cuáles están subutilizados o sobreutilizados. Un análisis dinámico de la eficiencia y cambio técnico, en conjunto con el análisis de productividad del sector, es una tarea que queda pendiente. Además, el análisis de la eficiencia asignativa, y una combinación con de la eficiencia técnica se puede realizar con el fin de disponer del panorama completo de la eficiencia económica, de forma que estos análisis adicionales podrían enriquecer la investigación existente y proporcionar una base más amplia para la formulación de políticas en el sector del agua potable.

Agradecimientos

Agradecemos al Departamento de Economía, Empresa y Desarrollo Sostenible de la Facultad de Economía y Administración, Universidad de Cuenca, y al grupo de investigación Water Law and Management Lab de la Universidad de Cuenca por proporcionar acceso a las instalaciones, recursos y financiamiento necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Referencias

- 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. DOI: 10.3390/w12020553
- ARCA, Agencia de Regulación y Control del Agua. (2022). *Benchmarking de prestadores públicos de los servicios de agua potable y saneamiento en el Ecuador*. Recuperado de http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/Boletín-estadístico-APS-2021_fn_v02.pdf
- Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1995). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, 20(2), 325-332. DOI: 10.1007/BF01205442
- Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1988). Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data. *Journal of Econometrics*, 38(3), 387-399. DOI: 10.1016/0304-4076(88)90053-X
- Benito, B., Faura, Ú., Guillamón, M. D., & Ríos, A. M. (2019). The efficiency of public services in small municipalities: The case of drinking water supply. *Cities*, 93, 95-103. DOI: 10.1016/j.cities.2019.04.016

- BCE, Banco Central del Ecuador. (2019). *Cuentas nacionales anuales*. Recuperado de https://contenido.bce.fin.ec/documentos/informacioneconomica/cuentasnacionales/ix_cuentasnacionalesanuales.html#
- Carvalho, P., & Marques, R. C. (2016). Estimating size and scope economies in the Portuguese water sector using the Bayesian stochastic frontier analysis. *Science of the Total Environment*, 544, 574-586. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.169
- Cetrulo, T. B., Ferreira, D. F. C., Marques, R. C., & Malheiros, T. F. (2020). Water utilities performance analysis in developing countries: On an adequate model for universal access. *Journal of Environmental Management*, 268, 110662. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110662
- Coelli, T., Estache, A., Perelman, S., & Trujillo, L. (2003). A primer on efficiency measurement for utilities and transport regulators. In: *A primer on efficiency measurement for utilities and transport regulators*. Washington, DC, USA: The World Bank. DOI: 10.1596/0-8213-5379-9
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). An introduction to efficiency and productivity analysis. In: *An Introduction to efficiency and productivity analysis*. Berlin, Germany: Springer US. DOI: 10.1007/b136381
- Cullmann, A. (2012). Benchmarking and firm heterogeneity: A latent class analysis for German electricity distribution companies. *Empirical Economics*, 42(1), 147-169. DOI: 10.1007/S00181-010-0413-4/METRICS

- Estruch-Juan, E., Cabrera, E., Molinos-Senante, M., & Maziotis, A. (2020). Are Frontier efficiency methods adequate to compare the efficiency of water utilities for regulatory purposes? *Water*, 12(4), 1046. DOI: 10.3390/w12041046
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120(3), 253. DOI: 10.2307/2343100
- Ferro, G., Lentini, E. J., & Mercadier, A. C. (2010). *Economías de escala en agua y saneamiento: examen de la literatura*. Recuperado de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00460661>
- Ferro, G., Lentini, E. J., Mercadier, A. C., & Romero, C. A. (2014). Efficiency in Brazil's water and sanitation sector and its relationship with regional provision, property and the independence of operators. *Utilities Policy*, 28, 42-51. DOI: 10.1016/j.jup.2013.12.001
- Ferro, G., & Mercadier, A. C. (2016). Technical efficiency in Chile's water and sanitation providers. *Utilities Policy*, 43, 97-106. DOI: 10.1016/j.jup.2016.04.016
- Filippini, M., Hrovatin, N., & Zorić, J. (2008). Cost efficiency of Slovenian water distribution utilities: An application of stochastic frontier methods. *Journal of Productivity Analysis*, 29(2), 169-182. DOI: 10.1007/s11123-007-0069-z
- Guerrini, A., & Romano, G. (2014). *Water management in Italy governance, performance, and sustainability*. Berlin, Germany: Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-07818-2

Guerrini, A., Romano, G., & Campedelli, B. (2013). Economies of scale, scope, and density in the Italian water sector: A two-stage data envelopment analysis approach. *Water Resources Management*, 27(13), 4559-4578. DOI: 10.1007/s11269-013-0426-9

Guerrini, A., Romano, G., & Leardini, C. (2018). Economies of scale and density in the Italian water industry: A stochastic frontier approach. *Utilities Policy*, 52, 103-111. DOI: 10.1016/j.jup.2018.04.003

Horn, T., & Saito, H. (2011). Cost efficiency and scale economies of Japanese water utilities. *Discussion Papers in Economics and Business*. Recuperado de <https://ideas.repec.org/p/osk/wpaper/1119.html>

INEC, AME, & ARCA, Instituto Nacional de Estadística y Censos, Asociación de Municipalidades Ecuatorianas & Agencia de Regulación y Control del Agua. (2018). *Gestión de agua potable y alcantarillado*. Recuperado de chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2018/Agua_potable_alcantarillado-2018/PRESENTACION%20APA%202018%20V06.pdf

INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2019). *Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales*. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/municipales-2019/>

- Koengkan, M., Fuinhas, J. A., Kazemzadeh, E., Osmani, F., Alavijeh, N. K., Auza, A., & Teixeira, M. (2022). Measuring the economic efficiency performance in Latin American and Caribbean countries: An empirical evidence from stochastic production frontier and data envelopment analysis. *International Economics*, 169, 43-54. DOI: 10.1016/J.INTECO.2021.11.004
- Ma, H., Shi, C., & Chou, N.-T. (2016). China's water utilization efficiency: An Analysis with environmental considerations. *Sustainability*, 8(6), 1-15. DOI: 10.3390/su8060516
- Marques, R. C., Berg, S., & Yane, S. (2014). Nonparametric benchmarking of Japanese water utilities: Institutional and environmental factors affecting efficiency. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(5), 562-571. DOI: 10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000366
- Martínez, A., & Salazar, D. (2021). El agua como un derecho humano y fundamental en el Ecuador, a la luz de los derechos de la naturaleza. *Revista Institucional de la Defensa Pública de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires*, 25, 188-207. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/350471416_El_agua_como_un_derecho_humano_y_fundamental_en_el_Ecuador_a_la_luz_de_los_derechos_de_la_naturaleza
- Mendes, V., & Rebelo, J. (1999). Productive efficiency, technological change and productivity in Portuguese banking. *Applied Financial Economics*, 9(5), 513-521. DOI: 10.1080/096031099332177

Molinos-Senante, M., Donoso, G., Sala-Garrido, R., & Villegas, A. (2018). Benchmarking the efficiency of the Chilean water and sewerage companies: A double-bootstrap approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 8432-8440. DOI: 10.1007/s11356-017-1149-x

Molinos-Senante, M., & Maziotis, A. (2018). Assessing the influence of exogenous and quality of service variables on water companies' performance using a true-fixed stochastic frontier approach. *Urban Water Journal*, 15(7), 682-691. DOI: 10.1080/1573062X.2018.1539502

Molinos-Senante, M., & Maziotis, A. (2020). A metastochastic frontier analysis for technical efficiency comparison of water companies in England and Wales. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(1), 729-740. DOI: 10.1007/s11356-019-06981-3

Molinos-Senante, M., Maziotis, A., & Sala-Garrido, R. (2022). Benchmarking the economic and environmental performance of water utilities: A comparison of frontier techniques. *Benchmarking*, 29(10), 3176-3193. DOI: 10.1108/BIJ-08-2021-0481

Molinos-Senante, M., Maziotis, A., Sala-Garrido, R., & Mocholi-Arce, M. (2023). Assessing the influence of environmental variables on the performance of water companies: An efficiency analysis tree approach. *Expert Systems with Applications*, 212, 118844. DOI: 10.1016/J.ESWA.2022.118844

- Molinos-Senante, M., Maziotis, A., & Villegas, A. (2020). Estimating technical efficiency and allocative distortions of water companies: Evidence from the English and Welsh water and sewerage industry. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 35174-35183. DOI: 10.1007/s11356-020-09850-6
- Morán-Valencia, M., Flegl, M., & Güemes-Castorena, D. (2023). A state-level analysis of the water system management efficiency in Mexico: Two-stage DEA approach. *Water Resources and Industry*, 29, 100200. DOI: 10.1016/J.WRI.2022.100200
- Murwirapachena, G., Mahabir, J., Mulwa, R., & Dikgang, J. (2019). Efficiency in South African water utilities: A comparison of estimates from DEA, SFA and StoNED. *Working Papers*. Recuperado de <https://ideas.repec.org/p/rza/wpaper/780.html>
- Romano, G., & Guerrini, A. (2011). Measuring and comparing the efficiency of water utility companies: A data envelopment analysis approach. *Utilities Policy*, 19(3), 202-209. DOI: 10.1016/j.jup.2011.05.005
- Romano, G., Salvati, N., & Guerrini, A. (2018). Governance, strategy and efficiency of water utilities: The Italian case. *Water Policy*, 20(1), 109-126. DOI: 10.2166/wp.2017.172
- See, K. F. (2015). Exploring and analysing sources of technical efficiency in water supply services: Some evidence from Southeast Asian public water utilities. *Water Resources and Economics*, 9, 23-44. DOI: 10.1016/j.wre.2014.11.002

- Song, M., Wang, R., & Zeng, X. (2018). Water resources utilization efficiency and influence factors under environmental restrictions. *Journal of Cleaner Production*, 184, 611-621. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.259
- Sun, C., Luo, Y., Huang, Y., & Ouyang, X. (2017). A comparative study on the production efficiencies of China's oil companies: A true fixed effect model considering the unobserved heterogeneity. *Journal of Cleaner Production*, 154, 341-352. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.222
- Tan, X., Choi, Y., Wang, B., & Huang, X. (2020). Does China's carbon regulatory policy improve total factor carbon efficiency? A fixed-effect panel stochastic frontier analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 160, 120222. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120222
- Tourinho, M., Santos, P. R., Pinto, F. T., & Camanho, A. S. (2022). Performance assessment of water services in Brazilian municipalities: An integrated view of efficiency and access. *Socio-Economic Planning Sciences*, 79, 101139. DOI: 10.1016/J.SEPS.2021.101139
- Villegas, A., Molinos-Senante, M., & Maziotis, A. (2019). Impact of environmental variables on the efficiency of water companies in England and Wales: A double-bootstrap approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(30), 31014-31025. DOI: 10.1007/s11356-019-06238-z

- Walker, N. L., Williams, A. P., & Styles, D. (2020). Key performance indicators to explain energy & economic efficiency across water utilities, and identifying suitable proxies. *Journal of Environmental Management*, 269, 110810. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110810
- Wingfield, S., Martínez-Moscoso, A., Quiroga, D., & Ochoa-Herrera, V. (2021). Challenges to water management in Ecuador: Legal authorization, quality parameters, and socio-political responses. *Water*, 13(8), 1017. DOI: 10.3390/w13081017
- Worthington, A. C. (2014). A review of frontier approaches to efficiency and productivity measurement in urban water utilities. *Urban Water Journal*, 11(1), 55-73. DOI: 10.1080/1573062X.2013.765488
- Zheng, J., Zhang, H., & Xing, Z. (2018). Re-examining regional total-factor water efficiency and its determinants in China: A parametric distance function approach. *Water*, 10(10), 1286. DOI: 10.3390/w10101286