

ARTÍCULO ORIGINAL

Eficiencia de la gestión de residuos sólidos urbanos en los municipios distritales de la macrorregión sur del Perú

Efficiency of urban solid waste management in the district municipalities of the southern macro region of Peru

Ernesto Carlos Narciso Quispe-Huayta,^{*†} Edson Efrain Sarmiento-Quispe,^{*‡} y Lisbeth Whitney Calli-Vilca^{*¶}

[†]Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8928-6781>

[‡]Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4715-9390>

[¶]Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3960-8003>

*Correspondencia al correo: ernestocarlosqh@gmail.com; edsonsarmientoquispe@gmail.com; lis.whitney97@gmail.com

(Recibido 10 de diciembre de 2023; aceptado 15 de marzo de 2024)

Resumen

El objetivo central de este estudio es analizar el nivel de eficiencia en la gestión de residuos sólidos urbanos en los municipios distritales de la macrorregión sur del Perú en el año 2022 y cómo se ve afectada por diferentes variables y estrategias de gestión. Para ello, se utilizó información del Registro Nacional de Municipalidades (RENAMU) del año 2022 elaborada por el INEI. Se empleó el método hipotético-deductivo con un enfoque cuantitativo mediante un modelo de análisis envolvente que permitió estimar el nivel de eficiencia de las 174 municipalidades distritales urbanas. Posteriormente, se estimó un modelo Tobit para encontrar cómo afectan los instrumentos de gestión al nivel de eficiencia de las municipalidades. Se concluye que algunos distritos operan con alta eficiencia en la gestión de residuos sólidos, como es el caso de Machupicchu, Pichari, Juli, mientras que otras tienen margen para utilizar sus recursos de manera eficiente, como Potoni, Cabanillas y Quilcapuncu. Además, se encontró que las municipalidades con mayor eficiencia logran recolectar una mayor cantidad de residuos sólidos per cápita y un mayor nivel de cobertura de recojo de residuos con recursos similares a aquellas municipalidades ineficientes. Por otro lado, la implementación de planes de gestión de residuos, planes de desarrollo urbano y estratégicos institucionales se relacionan positiva y significativamente con el nivel de eficiencia.

Palabras clave: análisis envolvente de datos, eficiencia, gestión de residuos sólidos, modelo Tobit.

Abstract

The central objective of this study is to analyze the level of efficiency in the management of urban solid waste in the district municipalities of the southern macroregion of Peru in the year 2022 and how it is affected by different variables and management strategies. For this, information from the National Registry of Municipalities (RENAMU) for the year 2022 prepared by the INEI was used. The hypothetical-deductive method was used with a quantitative approach through an envelopment analysis model that allowed estimating the level of efficiency of the 174 urban district municipalities. Subsequently, a Tobit model was estimated to find how the management instruments affect the level of efficiency of the municipalities. It is concluded that some districts operate with high efficiency in solid waste management, such as Machupicchu, Pichari, Juli, while others have room to use their resources efficiently, such as Potoni, Cabanillas and Quilcapuncu. Furthermore, it was found that municipalities with greater efficiency manage to collect a greater amount of

solid waste per capita and a higher level of waste collection coverage with similar resources to those inefficient municipalities. On the other hand, the implementation of waste management plans, urban development plans and institutional strategies are positively and significantly related to the level of efficiency.

Keywords: data envelopment analysis, efficiency, solid waste management, Tobit model.

Clasificación temática: Q53: Contaminación del aire, contaminación del agua, ruido, residuos peligrosos, residuos sólidos, reciclaje. H11: Estructura, alcance y desempeño del gobierno.

1. Introducción

El acelerado crecimiento demográfico en entornos urbanos plantea un desafío significativo en cuanto a la gestión adecuada de los residuos sólidos generados. En línea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11, centrado en 'Ciudades y Comunidades Sostenibles', se destaca la necesidad de una gestión eficiente de residuos sólidos. Esta gestión eficaz se torna fundamental para asegurar que las personas en estos entornos urbanos puedan disfrutar de una vida digna y saludable (Escuela de Gestión Pública de la Universidad del Pacífico, 2021). En la actualidad, es fundamental la gestión eficiente de los residuos sólidos urbanos en la macrorregión sur del Perú, constituida por las regiones de Arequipa, Apurímac, Cusco Moquegua, Puno y Tacna, donde el crecimiento demográfico y el desarrollo económico han desencadenado un incremento notable en la generación de residuos, generando una problemática que demanda una atención inmediata y estratégica.

Las regiones del sur del Perú concentran el 16 % del producto bruto interno y el 16 % de la población total del Perú con 5 342 472 personas (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2022); además, según el Ministerio del ambiente [MINAM] (2021), entre los años 2014 y 2021, a nivel nacional, la producción diaria promedio de residuos sólidos municipales ha aumentado de 19 mil a 21 mil toneladas. También, en el año 2011, la región de la sierra tuvo una generación de residuos sólidos per cápita de 0.547 kilogramos por habitante al día, mientras que la costa registró 0.628 kilogramos. Por otro lado, los residuos sólidos municipales dispuestos en botaderos o rellenos sanitarios fueron de aproximadamente 9 millones de toneladas (Ministerio del ambiente [MINAM], 2014).

Los residuos sólidos son materiales en estado sólido o semisólido que deben ser dispuestos por el generador debido a normativas nacionales o por los riesgos que representan para la salud y el medio ambiente. Su gestión es responsabilidad de las municipalidades provinciales y distritales, quienes además deben implementar instrumentos de gestión, como el plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos (PIGARS), el cual aborda todas las etapas del manejo de residuos y aspectos técnicos, ambientales, económicos, institucionales y legales, además de resolver problemas ambientales causados por los desechos urbanos, minimizando su impacto en el entorno acuático y en los sistemas de saneamiento, priorizando la protección ambiental y la salud pública (Rondón et al., 2016).

En concordancia con lo mencionado, datos proporcionados por la Contraloría General de la República del Perú (2019) revelan que, hasta el año 2019, un 36 % de las municipalidades carecían de un estudio de caracterización de residuos sólidos. De igual modo, del 45 % de las municipalidades distritales que contaban con este estudio, el 79 % no mantenía coordinación con las municipalidades provinciales. Además, únicamente el 21 % de estas disponía de un plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos (PIGARS). Estas cifras evidencian la falta de un proceso claro de coordinación en cuanto a instrumentos de gestión, lo cual podría tener un impacto negativo en la eficiencia del servicio.

En este sentido, es fundamental conseguir una gestión municipal de residuos sólidos eficiente que integre de manera articulada a todos los actores sociales y que minimice los costos, asegurando una utilización de recursos óptima, ya que, de lo contrario, los costos sociales por asumir involucrarán un incremento de enfermedades y creación de zonas con condiciones de vida precarias. Además, las autoridades municipales desempeñan una función crucial en fomentar el crecimiento de urbes saludables y competitivas, lo que favorece la atracción de inversiones (Gómez y Flores, 2014).

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la eficiencia técnica que aborda la generación de productos (outputs) en términos de su cantidad o calidad en relación con la cantidad de recursos o

insumos (inputs) empleados en dicho proceso de producción. En líneas generales, la eficiencia se alcanza al utilizar una menor cantidad de insumos para la producción o al producir más utilizando la misma cantidad de insumos (Cordeiro et al., 2012).

2. Marco teórico

Como señala la Ley 27314, el propósito de la gestión de residuos sólidos en el país es lograr su manejo completo y sostenible, mediante la coordinación, unificación y adecuación de las políticas, planes, programas, estrategias y acciones de los involucrados en su gestión y manejo, aplicando los principios de política definidos en el artículo 3 de la ley ya mencionada. Asimismo, dicha ley, en su artículo 10, indica que es responsabilidad de las municipalidades distritales proporcionar los servicios de recolección y transporte de los residuos sólidos mencionados en el artículo previo, así como también encargarse de la limpieza de las vías, áreas públicas y monumentos dentro de su ámbito.

La conformación de los residuos sólidos urbanos (RSU) difiere según la ubicación geográfica dentro del país y el tamaño de la comunidad donde se generan. Esta variabilidad implica que una zona urbana grande puede generar tipos y cantidades de residuos per cápita distintos a los de una comunidad rural más pequeña (Jiménez, 2015). En tal sentido, se requiere una gestión más efectiva de los residuos para prevenir la creación de un impacto adicional en la atmósfera y, al mismo tiempo, proteger el suelo y el agua (Sánchez-Muñoz et al., 2020).

Numerosos estudios emplean el análisis envoltante de datos (DEA) para crear un instrumento de evaluación que integre diversos indicadores en un modelo, con el propósito de evaluar la eficiencia en la gestión de residuos sólidos (Cavallin et al., 2016). Dentro de este conjunto de investigaciones, destacan estudios como el de Orihuela (2018), el cual indica que las municipalidades distritales del Perú presentan un nivel inferior de eficiencia en la gestión de recolección de residuos sólidos en comparación con las municipalidades provinciales. Este fenómeno se atribuye principalmente a la carencia de equipamiento adecuado, especialmente de maquinaria, como camiones recolectores, que constituye la principal causa de su baja eficiencia. En tal contexto, Betanzo et al. (2016) menciona la importancia de examinar el factor de densidad o peso volumétrico en los desechos, ya que este factor influye en la rapidez con que se ocupan los camiones de recolección.

Otro factor importante es que el personal de limpieza, quien se encarga de las actividades vinculadas al manejo de residuos, no siempre dispone de la capacitación y experiencia requeridas para desempeñar sus funciones de manera eficiente; asimismo, se observa una rotación frecuente de personal, con la incorporación de nuevos miembros en cada transición administrativa municipal (Bernache, 2015). Para superar este obstáculo, Cervantes y Castellanos (2022) y Zhou et al. (2022) sugieren implementar programas de formación integral destinados al personal de limpieza involucrado en dichos procesos.

De acuerdo con Bernache (2015), otro desafío organizacional se relaciona con la falta de suficiencia en la cobertura de los servicios de recolección y tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU), donde la cobertura es definida como el indicador que refleja el porcentaje de usuarios atendidos por los sistemas municipales de recolección. Esta problemática se origina a raíz de las discrepancias existentes en las prácticas adoptadas por las organizaciones encargadas de la gestión de RSU, conduciendo a una administración ineficiente de los desechos y presentando un desafío significativo para lograr una gestión sostenible de residuos.

No obstante, estos desafíos emergentes no solo presentan obstáculos, sino también abren oportunidades y vías para aprovechar de manera eficiente estos residuos, cambiando la perspectiva de ver estos materiales no solo como desechos sin valor, sino como recursos aprovechables. En este sentido, Rodríguez-Díaz et al. (2022) abogan por abordar la gestión de residuos sólidos urbanos desde el enfoque de la economía circular.

Por lo expuesto, Lamichhane y Tamang (2019) y Zhou et al. (2022) argumentan que el rendimiento efectivo en la gestión de residuos municipales se encuentra intrínsecamente vinculado a la implementación de métodos de recolección eficaces, la utilización de equipos idóneos, la optimización de recursos humanos, la adquisición de vehículos apropiados para el transporte, la eficacia temporal en la

ejecución de la recolección y una planificación meticulosa de las rutas correspondientes. Asimismo, Abarca-Guerrero et al. (2015) sostienen que corresponde a las municipalidades la tarea de potenciar cada una de estas áreas, las cuales repercuten positivamente en el rendimiento del sistema.

En este ámbito, Reyna et al. (2017) identifican factores positivos que contribuyen a la mejora del sistema de gestión, las cuales vendrían a ser el respaldo de las autoridades locales combinado con la implementación de planes estratégicos y logísticos que permiten un seguimiento y evaluación anual del proceso. De manera paralela, en el contexto europeo, los objetivos y metas establecidos en los planes de gestión de residuos sólidos han desempeñado un papel crucial al impulsar mejoras significativas, marcando un camino hacia prácticas más efectivas y sostenibles (Carvajal et al., 2022).

Sin embargo, a pesar de estos avances, García-Mondragón et al. (2023) plantean una perspectiva crítica al considerar que la implementación de planes estratégicos de gestión y políticas públicas actúa más como una orientación teórica para la gestión integral de residuos sólidos (GIRS), ya que a menudo la evolución y la producción de residuos superan la capacidad de acción de estos planes, evidenciando deficiencias institucionales y la persistencia de problemas no resueltos en la gestión de residuos sólidos.

En un contexto internacional, también existen estudios que abordan la eficiencia en la gestión de residuos sólidos, tales como el estudio de Mohamed et al. (2017) en el estado de Jengka Pahang en Malasia, donde emplean el modelo DEA para analizar la frecuencia de recolección por semana en horas y número de camiones de basura como variables de entrada, mientras que la variable de salida fue la cantidad total de residuos sólidos recolectados en kilogramos, donde mostraron que solo tres de las 23 áreas evaluadas lograron una eficiencia óptima.

Otra investigación es la de Zhou et al. (2022) que evalúan mediante un modelo DEA la eficiencia en la recolección y disposición de los residuos sólidos en 27 ciudades de la región Delta Río Yangtsé en China, siendo los inputs la inversión de las municipalidades en el tratamiento de los residuos sólidos y el número de camiones recolectores de basura, mientras que los outputs fueron la cantidad recolectada y tratada de residuos sólidos, de lo cual determinaron que solo 9 ciudades del total utilizan eficientemente sus recursos para una adecuada gestión de los residuos sólidos.

Así también, Das Mercês Costa et al. (2024) analizan la eficiencia en la gestión de residuos sólidos en 940 municipios urbanos de Brasil a través de un modelo DEA, donde consideran como inputs el número de personal de limpieza y camiones recolectores y como outputs la cantidad de residuos sólidos recolectados y la población atendida, determinando que solo el 12.34 % de los municipios fueron evaluados como eficientes.

En consecuencia, se plantean dos preguntas de estudio: 1) ¿Cuál es el nivel de eficiencia en la gestión de residuos sólidos urbanos en los municipios distritales de la macrorregión sur del Perú en el año 2022? y ¿Cómo dicha eficiencia se ve afectada por diferentes variables y estrategias de gestión? Para ello, se usó el modelo de análisis envolvente de datos a fin de encontrar el nivel de eficiencia de las municipalidades y ver cómo es afectada por diferentes variables y estrategias de gestión.

3. Materiales y métodos

La presente investigación es de enfoque cuantitativo y diseño no experimental dada la naturaleza de las ciencias económicas (Mendoza, 2014). No obstante, no se pretende descartar el uso de la deducción lógica fundamentada en principios básicos de las teorías económicas, ya que este enfoque resulta crucial para alcanzar una comprensión más completa y profunda de la realidad social (Sánchez-Bayón et al., 2023).

La fuente de información es secundaria y se obtuvo del Registro Nacional de Municipalidades (RENAMU) del año 2022, elaborada por el INEI, el cual permite emplear datos estadísticos provenientes de municipalidades provinciales, distritales y áreas urbanas para crear métricas municipales que son fundamentales para respaldar la gestión a nivel regional y local, facilitando la planificación y la toma de decisiones efectivas.

3.1 Análisis envolvente de datos (DEA)

Para esta investigación, se eligió el método de análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) diseñado por Charnes et al. (1978) en base al trabajo de Farrell (1957). Este enfoque posibilita obtener un indicador relativo de eficiencia al comparar unidades de toma de decisiones (DMU) y ofrece la ventaja de flexibilizar ciertas suposiciones fuertes sobre la forma funcional de producción. Además, permite la utilización de varios inputs para obtener varios outputs. Así, el DEA es un método no paramétrico que permite distinguir a un conjunto de unidades de toma de decisión eficientes que ofrecen una cantidad máxima de outputs utilizando un nivel de inputs o también el nivel mínimo de inputs necesarios para mantener el nivel de output.

En la formulación del problema DEA para determinar los indicadores de eficiencia relativa, se emplean técnicas de programación lineal fraccional. Estas técnicas buscan maximizar la eficiencia de cada DMU evaluada, sin depender de ponderaciones arbitrarias. En este enfoque, se utilizan múltiples insumos que son independientes entre sí para generar múltiples resultados. Tanto los insumos como los resultados pueden adoptar diversas formas y expresarse en diferentes unidades de medida, siempre y cuando mantengan características comunes para ser comparados entre las DMU.

La solución al problema ofrece una clasificación de eficiencia entre las unidades evaluadas, pero esta clasificación puede cambiar si hay modificaciones en las unidades seleccionadas, los insumos y los resultados. Lograr la máxima eficiencia no implica que la mejor clasificación obtenida sea la máxima posible; otras unidades podrían mejorar su rendimiento. Esto significa que una unidad eficiente usa menos recursos para obtener los mismos resultados o consigue más resultados utilizando la misma cantidad de recursos (Fonseca y González, 2002). Por estas razones es que se consideran específicamente a las municipalidades distritales del área urbana de la macrorregión sur.

El análisis envolvente de datos (DEA) es un método innovador, introducido por Charnes et al. (1978), que se utiliza para evaluar la eficiencia de unidades de toma de decisiones (DMU), como empresas o entidades pertenecientes al sector público, de manera no paramétrica. En esencia, el DEA busca medir la eficiencia técnica de una DMU al comparar las salidas deseadas con los insumos utilizados. El modelo original propuesto por CCR se centraba en tecnologías con rendimientos constantes a escala global, pero desde entonces se han desarrollado variantes para adaptarse a diversas situaciones (Coelli et al., 1998).

Charnes et al. (1978), Ray (2004) y Coelli et al. (1998) señalan que la eficiencia técnica se calcula como la proporción ponderada entre las salidas/outputs deseados y los insumos/inputs utilizados. En el modelo CCR, también denominado como CRS por considerar retornos a escala constantes, se evalúa la eficiencia técnica de una DMU mediante un programa fraccional orientado a insumos. Esto significa que se busca optimizar la relación entre insumos y producir la mayor cantidad posible de salidas con esos insumos.

En otras palabras, el DEA busca responder a la pregunta de cuán bien está utilizando una entidad sus recursos para generar productos o servicios. Si una entidad opera eficientemente, estará cerca de la envolvente que define el límite superior de la eficiencia. Por otro lado, las entidades que se encuentran por debajo de esta envolvente podrían mejorar su eficiencia al ajustar la combinación de insumos y salidas.

Esta metodología es relevante en la toma de decisiones estratégicas, ya que proporciona información sobre cómo mejorar la eficiencia operativa y aprovechar al máximo los recursos disponibles. Además, el DEA ha evolucionado con el tiempo, adaptándose a diferentes contextos y desempeñando un papel crucial en la gestión y evaluación de la eficiencia en diversos sectores tales como la gestión de los residuos sólidos (Ecuación 1, Ecuación 2, Ecuación 3, Ecuación 4).

$$\max h_0(\mu, \nu) = \frac{\sum_{r=1}^k Y_r \mu_r}{\sum_{i=1}^m \nu_i X_{ia}} \quad (1)$$

$$s.a \frac{\sum_{r=1}^k \gamma_r \mu_r}{\sum_{i=1}^m v_i v_i} \leq 1 \quad (2)$$

$$\mu_r \geq \varepsilon, v_i \geq \varepsilon \quad (3)$$

$$\varepsilon > 0 \quad (4)$$

Donde:

h_0 : Función objetivo que se busca maximizar.

γ_r : Productos u outputs, donde $r = 1, 2, \dots, k$

x_i : Insumos inputs, donde $i = 1, 2, \dots, m$

j : Municipalidades distritales del estudio, además $j = 1, 2, \dots, n$

μ : Peso ponderado para los productos.

v : Peso ponderado para los insumos.

El anterior problema de maximización puede ser convertidas en dos problemas de programación lineal, el primal y el dual.

En la programación lineal primal, el problema se resuelve mediante la minimización de la diferencia entre la eficiencia y las holguras de los inputs y outputs (Ecuación 5, Ecuación 6, Ecuación 7, Ecuación 8).

$$\text{ming}_I = \theta - 1^T s^- - 1^T s^+ \quad (5)$$

$$s.a \theta x_0 - X\lambda - s^- = 0 \quad (6)$$

$$Y\lambda - \gamma_0 - s^+ = 0 \quad (7)$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0 \quad (8)$$

Donde:

g_I : Es la función objetivo que se busca minimizar.

s^- : Son las variables de holgura asociadas a los insumos/inputs.

s^+ : Son las variables de holgura asociadas a los productos/outputs.

x_0 : Vector de insumos de la unidad de referencia (unidad eficiente) que se utiliza como punto de comparación.

γ_0 : Vector de salidas de la unidad de referencia que se utiliza como punto de comparación.

X : Matriz que contiene las cantidades de insumo/inputs utilizados por cada DMU.

Y : Matriz que contiene las cantidades de salidas producidas por cada DMU.

λ : Vector de pesos que se asignan a las DMUs en relación con los insumos/inputs.

Mientras que en la programación lineal dual se busca (Ecuación 9, Ecuación 10, Ecuación 11, Ecuación 12):

$$maxh_I = \mu^T \gamma_0 \tag{9}$$

$$s.a. \mu^T Y - \nu^T X \leq 0 \tag{10}$$

$$\nu^T x_0 = 1 \tag{11}$$

$$\mu, \nu \geq \varepsilon \tag{12}$$

Cada DMU resuelve el problema de optimización tanto de la programación lineal primal como dual con la finalidad de asignar los pesos más favorables a sus productos/outputs y a sus insumos/insumos. En el caso que el valor de θ sea igual a uno y todas las variables de holgura son iguales a cero, la DMU se define como eficiente y se incorpora a la frontera de eficiencia.

En cambio, si θ es menor a uno, significa que existe la necesidad de una reducción de los insumos/inputs, sin alterar las salidas, para posicionarse en la frontera de eficiencia. Es así que las DMU ajustan sus insumos con el objetivo de mejorar la eficiencia, manteniendo constantes las salidas.

Entonces, para el caso estudiado, los programas lineales primal y dual serán de la siguiente manera (Ecuación 13, Ecuación 14, Ecuación 15, Ecuación 16, Ecuación 17, Ecuación 18, Ecuación 19):

Primal:

$$ming_I = \theta_i - s_{1i}^- - s_{2i}^- - s_{1i}^+ - s_{2i}^+ \tag{13}$$

$$s.a. \theta x_0 - \lambda_{1i} x_{1i} - \lambda_{2i} x_{2i} - \lambda_{3i} x_{3i} - s_{1i}^- - s_{1i}^+ = 0 \tag{14}$$

$$\lambda_{4i} \gamma_{1i} - \lambda_{5i} x_{2i} - \gamma_{0i} - s_{1i}^+ - s_{2i}^+ \tag{15}$$

$$\lambda_{1i}, \lambda_{2i}, \lambda_{3i}, \lambda_{4i}, \lambda_{5i}, s_{1i}^+, s_{2i}^+, s_{1i}^-, s_{2i}^- \geq 0 \tag{16}$$

Dual:

$$maxh_I = u_{1i} \gamma_{1i} + u_{2i} \gamma_{2i} \tag{17}$$

$$s.a. \mu_{1i} \gamma_{1i} + \mu_{2i} \gamma_{2i} - \nu_{1i} x_{1i} - \nu_{2i} x_{2i} - \nu_{3i} x_{3i} \leq 0 \tag{18}$$

$$u_{1i}, u_{2i}, \nu_{1i}, \nu_{2i}, \nu_{3i} \geq \varepsilon \tag{19}$$

Donde:

Productos:

$\gamma_1 i$: Cantidad recolectada de residuos sólidos per cápita (kg/habitante) de la i -ésima municipalidad distrital.

$\gamma_2 i$: Cobertura del recojo de residuos sólidos de la i -ésima municipalidad distrital.

Insumos:

$x_1 i$: Número de camiones recolectores operativos de la i -ésima municipalidad distrital. $x_2 i$: Número de personal de limpieza de la i -ésima municipalidad distrital. $x_3 i$: Frecuencia de recojo de residuos sólidos de la i -ésima municipalidad distrital.

Pesos y holguras:

$\lambda_{1i}, \lambda_{2i}, \lambda_{3i}$: Pesos asociados a los inputs x_1, x_2, x_3 respectivamente de la i -ésima municipalidad distrital, en el problema primal.

$\lambda_{4i}, \lambda_{5i}$: Pesos asociados a los outputs γ_1 y γ_2 respectivamente de la i -ésima municipalidad distrital, en el problema primal.

$\nu_{1i}, \nu_{2i}, \nu_{3i}$: Pesos asociados a los inputs x_1, x_2, x_3 respectivamente de la i -ésima municipalidad distrital, en el problema dual.

u_{1i}, u_{2i} : Pesos asociados a los outputs γ_1 y γ_2 respectivamente de la i -ésima municipalidad distrital, en el problema dual.

3.2 Modelo Tobit

El modelo Tobit es una técnica estadística utilizada para abordar la censura en datos. La censura ocurre cuando no todas las observaciones de una variable de interés son observables o se registran completamente. Puede haber censura por debajo (cuando las observaciones por debajo de cierto umbral no se registran) o censura por arriba (cuando las observaciones por encima de cierto umbral no se registran) (Greene, 2003; Wooldridge, 2010).

Este modelo fue propuesto por Tobin (1958) y es particularmente útil cuando se trata con variables dependientes que están censuradas; es decir, que tienen muchos valores que están por debajo o por encima de un cierto límite. Se estima mediante el método de máxima verosimilitud (MLE), donde la función de verosimilitud se maximiza para obtener estimaciones de los parámetros del modelo.

La formulación general del modelo Tobit censurado por arriba es la siguiente (Ecuación 20, Ecuación 21):

$$\gamma_i^* = x_i^T \beta + u_i \quad (20)$$

$$\begin{cases} \gamma_i^*, & \text{si } \gamma_i^* \leq \tau \\ \tau, & \text{si } \gamma_i^* > \tau \end{cases} \quad (21)$$

Donde:

τ_γ : Punto de censura de la variable dependiente.

γ_i^* : Variable latente que es observada para valores menores o iguales que el punto de censura.

x_i : Variables explicativas.

μ_i : Término de error

En el caso de las DEA, como indica Ji y Lee (2010), la metodología predominante para identificar los factores que influyen en las disparidades de eficiencia entre las unidades de toma de decisiones (DMU) es la aplicación del análisis de regresión Tobit. Esto se debe a que las puntuaciones de eficiencia están sujetas a censura cuando superan el valor máximo; por lo que el método de regresión Tobit emplea las calificaciones de eficiencia θ como la variable dependiente que está sujeta a influencias de otras variables relacionadas a esta.

Entonces, con el modelo Tobit se estima el efecto de las principales determinantes que influyen en la eficiencia en la gestión de residuos sólidos, el cual tiene la siguiente forma (Ecuación 22):

$$\theta_i = \beta_0 + \beta_1 PRS_i + \beta_2 PDUrbano + \beta_3 PEI + \mu_i \quad (22)$$

Donde:

θ_i : Eficiencia en la recolección de residuos sólidos per cápita y en la cobertura de la recolección de residuos sólidos de la *i*-ésima municipalidad distrital.

PRS_i : Número de planes de residuos sólidos de la *i*-ésima municipalidad distrital.

$PDUrbano_i$: La municipalidad distrital *i*-ésima cuenta con un plan de desarrollo urbano.

PEI_i : La municipalidad distrital *i*-ésima cuenta con un plan estratégico institucional.

4. Resultados:

En la Tabla 1, se muestra la operacionalización de variables distinguiendo los inputs y outputs.

Tabla 1. Operacionalización de variables

Inputs (insumos del proceso de gestión de residuos sólidos)	VARIABLES	Valores	Tipo de variables
camiones_recolectores	Número de camiones recolectores de basura operativos	Valores entre 0 y 20	Discreta
personal_limpieza	Número total de personal de limpieza	Valores entre 0 y 309	Discreta
frecuencia_rrs	Frecuencia de recojo de residuos sólidos (basura) que realizó la municipalidad	1: Diaria 2: Interdiario 3: Dos veces por semana 4: Una vez por semana	Ordinal
Outputs (Productos del proceso de gestión de residuos sólidos)	VARIABLES	Valores	Tipo de variable
cobertura_rrs	Cobertura del servicio de recojo de residuos sólidos en el distrito	1: Menos de 25% 2: De 25% a 49% 3: De 50% a 74% 4: De 75% a 100%	Ordinal
recoleccion_percapita	Cantidad promedio diaria de residuos sólidos per cápita	Valores entre .021 y 1.99 kg/habitante	Discreta

Fuente: Elaboración propia

También, en la Tabla 2, se observa los instrumentos de gestión que se consideraran para poder estimar el modelo Tobit.

En la Tabla 3, se muestra el ranking de eficiencia que presenta las 10 municipalidades más eficientes y las menos eficientes.

Los resultados también se pueden observar mediante los siguientes mapas de calor de la macrorregión sur del Perú, donde se muestra las municipalidades y su respectiva cobertura en la Figura 1, así como la cantidad de recojo de residuos sólidos per cápita en la Figura 2.

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el análisis DEA, utilizando los insumos de carros recolectores de residuos, número de personal de limpieza y frecuencia de recolección, se identificaron cinco municipalidades distritales que parecen operar en el "borde de eficiencia". Estas municipalidades han logrado optimizar sus recursos para la gestión de residuos sólidos, reflejado en valores de Theta más cercanos a 1. Dichas municipalidades son Machupicchu, Pichari, Juli, Laberinto e Iberia.

Por otro lado, se observó que algunas municipalidades se encuentran en el extremo opuesto del ranking, con valores de eficiencia cercanos a cero. Esto sugiere que estas municipalidades aún tienen margen para mejorar sus prácticas en la gestión de residuos sólidos. Entre estas municipalidades se encuentran Huetpetuhe, Coya, Potoni, Cabanillas y Quilcapuncu. Para el caso de las municipalidades

Tabla 2. Instrumentos de gestión referentes a los residuos sólidos

	Variables Tipo de variable y valores	Tipo de variable y valores
PRS (Plan de residuos sólidos)	<ul style="list-style-type: none"> · Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos. · Plan de Manejo de Residuos Sólidos · Programa de Transformación de Residuos Sólidos · Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos · Sistema de Recojo de Residuos Sólidos · Plan de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos · Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos 	Discreta de 0 a 6, donde 0 indica que la municipalidad no cuenta con ningún PRS, 1: que cuenta con al menos un plan, etc.
Pdurbano	Plan de Desarrollo Urbano	0: No 1: Si
Pei	Plan estratégico institucional	0: No 1: Si

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Resultados de eficiencia de los municipios distritales en el la recolección de residuos sólidos per cápita y la cobertura en el recojo de residuos sólidos.

	DMU	Ranking	Theta		DMU	Ranking	Theta
Cusco	Machupicchu	1	1	Arequipa	Jacobo hunter	165	0.33
Cusco	Pichari	2	1	Puno	Coasa	166	0.28
Puno	Juli	3	1	Puno	Pucara	167	0.25
Madre de dios	Laberinto	4	1	Puno	Jose Domingo Choquehuanca	168	0.25
Madre de dios	Iberia	5	1	Moquegua	El algarrobal	169	0.25
Cusco	Chincheru	6	1	Madre de dios	Huepetuhe	170	0.25
Puno	Pichacani	7	1	Cusco	Coya	171	0.25
Cusco	Saylla	8	1	Puno	Potoni	172	0.21
Puno	Desaguadero	9	1	Puno	Cabanillas	173	0.18
Cusco	Ollantaytambo	10	1	Puno	Quilcapuncu	174	0.18

Fuente: elaboración propia mediante STATA 17.0

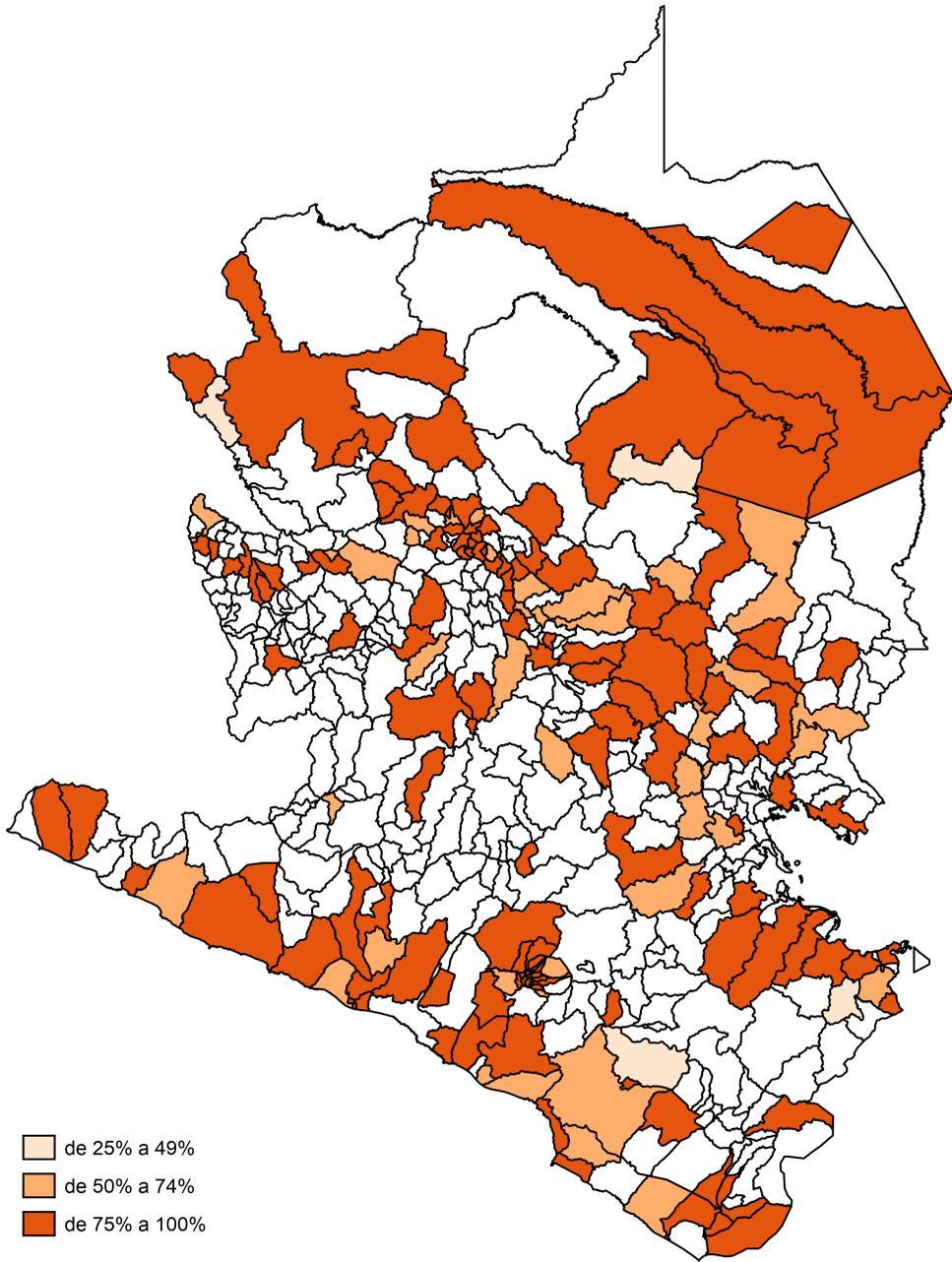
de Machupicchu y Pichari la cobertura de recojo de residuos sólidos es de 75 a 100% y la frecuencia de recojo es diaria; además, ambos cuentan con un plan de manejo de residuos sólidos, plan de valorización de residuos sólidos orgánicos y estudio de caracterización de residuos sólidos.

Así también, las municipalidades de Potoni, Cabanillas y Quilcapuncu, que están en el extremo inferior del ranking de eficiencia, tienen una cobertura de recojo de residuos de entre 50 a 74% y la frecuencia de recojo es de una vez por semana; las municipalidades cuentan solo con el plan de manejo de residuos sólidos y carecen de otro tipo de instrumentos de gestión.

Finalmente, al comparar las municipalidades en los extremos de eficiencia relativa, se observa un caso particular entre Pichari y Potoni. Ambas municipalidades poseen dos carros recolectores de residuos; sin embargo, mientras Pichari logra recolectar 35 000 kilos de residuos sólidos, Potoni apenas alcanza los 2 000 kilos. Este contraste resalta como ciertas municipalidades, a pesar de tener una cantidad similar de recursos (inputs), logran producir un rendimiento considerablemente diferente (output). A continuación, se presenta los resultados de la estimación del modelo Tobit en la Tabla 4.

Según los resultados del modelo Tobit, la variable dependiente es el nivel de eficiencia y las variables independientes son las municipalidades cuentan con al menos un plan de residuos sólidos, plan de

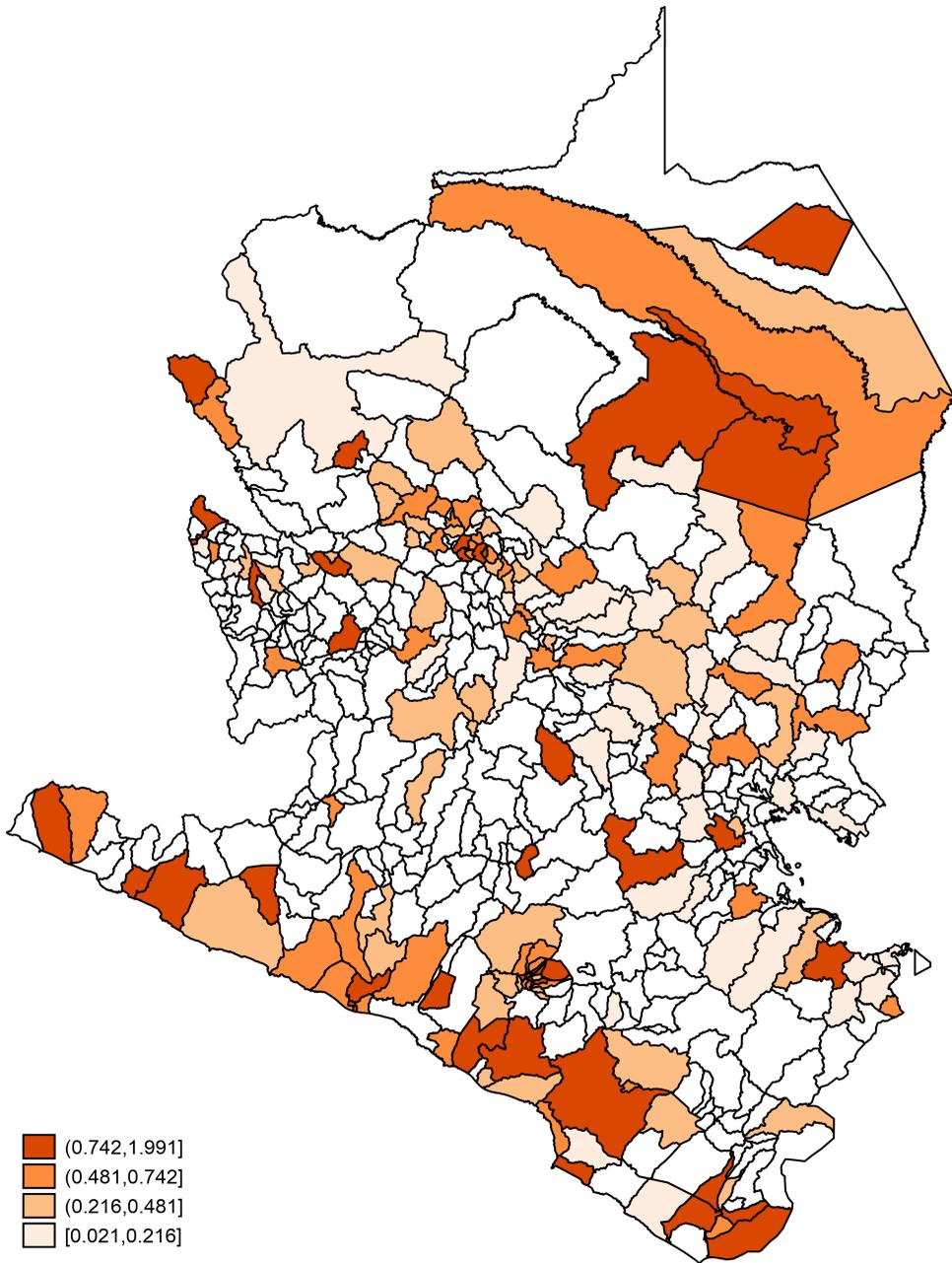
Figura 1. Mapa de calor de porcentaje de cobertura de recolección de residuos sólidos



Fuente: elaboración propia mediante STATA 17.0

desarrollo urbano y plan estratégico institucional. El estadístico LR $\chi^2(3)$ arroja un valor de 27.95, lo que indica que las variables consideradas son estadísticamente significativas en conjunto para explicar la eficiencia. Además, con una $\text{Prob} > \chi^2 = 0.0000$ se rechaza la hipótesis nula de coeficientes iguales a cero. En resumen, estos resultados sugieren que las variables tienen un efecto conjunto significativo en la explicación de la eficiencia evaluada.

Figura 2. Mapa de calor de la cantidad per cápita de recojo de residuos (kg/habitante)



Fuente: elaboración propia mediante STATA 17.0

5. Discusión

De acuerdo con la estimación del modelo DEA-Tobit, se encontró que aquellas municipalidades que se encuentran en el ranking superior de eficiencia cuentan, por lo menos, con 3 planes de residuos sólidos; en específico, las municipalidades de Machupicchu, Pichari y Juli. Esto contrasta con las municipalidades que están en los últimos puestos del ranking, como Potoni, Cabanillas y Quilcapuncu,

Tabla 4. Resultados del modelo Tobit

Variables	Efectos marginales
Plan de Residuos Sólidos (Prs)	0.0241* (0.0139)
Plan de Desarrollo Urbano (Pdurbano)	0.1465*** (0.0483)
Plan estratégico institucional (Pei)	0.1127*** (0.0436)
F (3, 171)	14.52
pseudo R ²	0.4467
Prob > F	0
Log pseudolikelihood	-17.3088
Errores estándar entre paréntesis, * p<.1, ** p<.05, *** p<0.01	

Fuente: Elaboración propia

las cuales apenas cuentan con 1 plan de residuos sólidos. En este sentido, se destaca la importancia que tiene la implementación de planes estratégicos y logísticos, como sugieren Reyna et al. (2017) y Carvajal et al. (2022).

Por otra parte, las municipalidades mencionadas cuentan con la misma cantidad de insumos, como personal de limpieza o camiones recolectores, dada la importancia de estos, como señala Bernache (2015); sin embargo Zhou et al. (2022) también destaca la importancia de su capacitación para mejorar la eficiencia de sus funciones. Este podría ser un indicio de como algunas municipalidades contando con la misma cantidad de inputs logran un output mucho mayor haciendo uso más eficiente de los recursos. Sobre todo, considerando que se normalizó las variables en términos per cápita.

En cuanto a la estimación del modelo Tobit, sus efectos marginales permitieron encontrar que contar con un plan adicional de gestión de residuos sólidos se asocia positivamente con el nivel de eficiencia de las municipalidades; en promedio, con un aumento de 0.0241 unidades en la eficiencia con un nivel de significancia del 10%, manteniendo constantes otras variables.

Asimismo, tener un plan de desarrollo urbano presenta una relación positiva con la eficiencia en la gestión de residuos sólidos. Está asociado, en promedio, con un aumento de 0.1465 unidades en la eficiencia al 1 % de significancia, en comparación con aquellas municipalidades que no cuentan con dicho plan, manteniendo constantes otras variables. Estos resultados están en línea con lo encontrado con García-Mondragón et al. (2023), quien considera que al implementar estos instrumentos de gestión actúan como una orientación teórica para el proceso de gestión de residuos sólidos, pero que es crucial considerar la evolución y producción de los residuos sólidos que podrían superar la capacidad de acción de los planes. Además, la existencia de un plan estratégico institucional se vincula, en promedio, con un aumento de 0.1127 unidades en la eficiencia al 1 % de significancia, en comparación con aquellas municipalidades que carecen de un plan estratégico institucional, manteniendo constantes otras variables.

En consecuencia, las políticas públicas y los planes estratégicos deben enfocarse en fomentar la educación ambiental y estimular la participación activa de la ciudadanía en la preservación del medio ambiente. Este enfoque puede desencadenar una serie de beneficios y oportunidades que son valiosos y significativos, tales como la disminución en la producción de desechos sólidos, la prolongación de la vida útil de los sitios de disposición, el fortalecimiento de un mercado de reciclaje formal, la creación de nuevas empresas para satisfacer las necesidades del sector y la generación de empleo, tanto directo como indirecto. Asimismo, dentro del marco de la reforma y modernización del Estado, la planificación estratégica ha adquirido una importancia significativa y se considera fundamental para alcanzar los objetivos organizacionales de manera más eficiente y efectiva (Castro, 2014).

6. Conclusiones

Los resultados del análisis muestran que algunas municipalidades operan con alta eficiencia en la gestión de residuos sólidos, mientras que otras tienen margen para mejorar. Por ejemplo, se observó que municipios como Pichari logran recolectar una cantidad considerable de residuos sólidos con recursos similares a aquellos que recolectan una cantidad mucho menor, como Potoni. Se identificó que las municipalidades más eficientes suelen tener varios planes de gestión de residuos sólidos. Además, se encontró que la presencia de planes de desarrollo urbano y estratégicos institucionales se relaciona positivamente con la eficiencia. Estos resultados resaltan la importancia de la planificación estratégica y el uso eficiente de recursos en la gestión de residuos sólidos. Sin embargo, también se reconoce que la capacidad de acción de los planes puede verse superada por la evolución de la producción de residuos, lo que requiere la necesidad de adaptabilidad en estas estrategias de gestión.

Como futura línea de investigación, se propone llevar a cabo un análisis comparativo a nivel nacional e internacional con el objetivo de identificar las mejores prácticas en la gestión de residuos sólidos. Dicho estudio no solo permitirá el reconocimiento de estrategias exitosas en diferentes contextos, sino que también brindará la oportunidad de explorar innovaciones y enfoques vanguardistas en la materia; además, ofrecerá conocimientos valiosos para la adaptación y mejora de las políticas y prácticas existentes en los municipios distritales de la macrorregión sur del Perú, fomentando así un manejo más efectivo y sostenible de los residuos sólidos urbanos.

Contribución de Autoría

Ernesto Carlos Narciso Quispe Huayta: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Análisis formal](#), [Redacción - borrador original](#), [Metodología](#), [Supervisión](#), [Validación](#), [Visualización](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). Edson Efraín Sarmiento Quispe: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Análisis formal](#), [Redacción - borrador original](#), [Metodología](#), [Supervisión](#), [Validación](#), [Visualización](#), [Escritura](#), [revisión y edición](#). Lisbeth Whitney Calli Vilca: [Conceptualización](#), [Investigación](#), [Análisis formal](#), [Redacción - borrador original](#).

Fuente de financiamiento

Los autores manifiestan que no tiene financiamiento

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Referencias

- Abarca-Guerrero, L., Maas, G., & Hogland, W. (2015) *Desafíos en la gestión de residuos sólidos para las ciudades de países en desarrollo*. Revista Tecnología en Marcha, 28(2), 141-168. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i2.2340>
- Bernache Pérez, G. (2015) *La gestión de los residuos sólidos: Un reto para los gobiernos locales*. Sociedad y Ambiente, 1(7), 72-98. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i7.1592>
- Betanzo-Quezada, E., Torres-Gurrola, M. Á., Romero-Navarrete, J. A., & Obregón-Biosca, S. A. (2016) *Evaluación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos con apoyo de dispositivos de rastreo satelital: Análisis e implicaciones*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 32(3), 323-337. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.07>
- Carvajal Romero, H., Teijeiro Álvarez, M., & García Álvarez, M. T. (2022) *Análisis de la gestión de los residuos sólidos urbanos en Europa*. Universidad y Sociedad, 14(1), Article 1. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2570>
- Castro Díaz, I. R. (2014) *Plan estratégico para la gestión de residuos sólidos domiciliarios en la comuna de Hualailué* [Trabajo de titulación, Universidad Austral de Chile; Tesis en formato electrónico y papel]. http://catalogobiblioteca.uach.cl:8080/ipac20/ipac.jsp?session=17113D9GU7364.18936&profile=bibtaja&source=biblioteca&view=subscriptionsummary&uri=full=310000111122412&ri=7&aspect=power&menu=search&ipp=20&spp=20&staffonly=&term=Ingeniero+Civil+Industrial&index=SW&uindex=&oper=AND&term=FORMATO+ELECTR%C3%93NICO&index=TW&uindex=&oper=AND&term=castro&index=AW&uindex=&aspect=power&menu=search&ri=7&limitbox_1=CO01+==TES
- Cavallin, A., Rossit, D., Frutos, M., & Vigier, H. (2016, noviembre 3) *Eficiencia en la gestión de residuos sólidos urbanos: Análisis y evaluación*. IX Congreso de Ingeniería Industrial – COINI 2016, Argentina. https://www.researchgate.net/publication/313227583_Eficiencia_en_la_gestion_de_Residuos_Solidos_Urbanos_analisis_y_evaluacion
- Cervantes, J. A. T., & Castellanos, C. E. Q. (2022) *Gestión de residuos sólidos urbanos en México: Un caso de estudio desde la perspectiva organizacional*. Revista de Administração de Empresas, 62(3), e2020-0759. <https://doi.org/10.1590/s0034-759020220302>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978) *Measuring the efficiency of decision making units*. European Journal of Operational Research, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Coelli, T., Rao, D. S. P., & Battese, G. E. (1998) *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5493-6>
- Contraloría General de la República del Perú. (2019) *Informe consolidado del operativo «Por una ciudad limpia y saludable—A la prestación del servicio de limpieza pública a cargo de municipalidades» (INFORME No 611-2019-CG/AGR-OC; pp. 1-12)*. <https://apps5.contraloria.gob.pe/sroc/doc/historicos/resumen/2019-05.pdf>
- Cordeiro, J. J., Sarkis, J., Vazquez-Brust, D., Frater, L., & Dijkshoorn, J. (2012) *An evaluation of technical efficiency and managerial correlates of solid waste management by Welsh SMEs using parametric and non-parametric techniques*. Journal of the Operational Research Society, 63(5), 653-664. <https://doi.org/10.1057/jors.2011.22>

- Das Mercês Costa, I., Dias, M. F., & Robaina, M. (2024) *Evaluation of the efficiency of urban solid waste management in Brazil by data envelopment analysis and possible variables of influence*. Waste Disposal & Sustainable Energy. <https://doi.org/10.1007/s42768-023-00175-x>
- Escuela de Gestión Pública de la Universidad del Pacífico. (2021) *Informe especial: Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 y los planes de gobierno*. <https://sisisemail.up.edu.pe/sisisemail/docs/2021/157/Los-Objetivos-de-Desarrollo-Sostenible-de-la-Agenda-2030-y-los-Planes-de-Gobierno.pdf>
- Farrell, M. J. (1957) *The Measurement of Productive Efficiency*. Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General), 120(3), 253-290. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Fonseca, A., & González, M. (2002) *Evaluación de la eficiencia en los sistemas de residuos sólidos urbanos en Portugal a través del método data envelopment analysis*. *Novos desafios na Gestão, Inovação ou renovação?* XII Jornadas Luso-Espanholas de gestão científica, Vol. 8, 2002 (Economía da Empresa e Matemática Aplicada), ISBN 972-9209-91-X, págs. 246-255, 246-255. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5871384>
- García-Mondragón, D., Cervantes-Zepeda, I., Gómez-Demetrio, W., Gallego-Alarcón, I., García-Pulido, D., & González-Blanco, G. (2023) *Gestión de los residuos sólidos en México: Análisis cualitativo de los diagnósticos básicos: Solid waste management in Mexico: qualitative analysis of basic diagnoses*. INTER DISCIPLINA, 11(30), 215-242. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2023.30.81788>
- Gómez de Zea, R., & Flores, F. (2014) *Ciudades sostenibles y gestión de residuos sólidos*. Universidad del Pacífico, Centro de Investigación. <http://hdl.handle.net/11354/2301>
- Greene, W. H. (2003) *Econometric analysis (5th ed)*. Prentice Hall. http://bvbr.bib-bvb.de:8991/Ffunc=service&doc_library=BVB01&doc_number=009940516&line_number=0001&func_code=DB_RECORDS&service_type=MEDIA
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022) *Perú: Proyecciones de población total según departamento, provincia y distrito, 2018-2022*. <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/3464927-peru-proyecciones-de-poblacion-total-segun-departamento-provincia-y-distrito-2018-2022>
- Ji, Y., & Lee, C. (2010) *Data envelopment analysis*. The Stata Journal: Promoting Communications on Statistics and Stata, 10(2), 267-280. <https://doi.org/10.1177/1536867X1001000207>
- Jiménez Martínez, N. M. (2015) *La gestión integral de los residuos sólidos urbanos en México: Reflexiones sobre su implementación. En Pasado, presente y futuro de las regiones en México y su estudio*. Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional, A. C. <https://ru.iiiec.unam.mx/2912/>
- Lamichhane, H. R., & Tamang, G. (2019) *Efficiency assessment of municipal solid waste management in Nepal*. International Journal of Progressive Sciences and Technologies, 14(2), Article 2. <https://ijpsat.org/index.php/ijpsat/article/view/864>
- Mendoza Bellido, W. (2014) *Cómo investigan los economistas: Guía para elaborar y desarrollar un proyecto de investigación*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/170200>
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2014) *Informe nacional del estado del ambiente 2012-2013 | sinia*. Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/informe-nacional-estado-ambiente-2012-2013>

- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2021) *Gestión integral de residuos sólidos*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2248485/1_ppt2021.pdf.pdf
- Mohamed, S. R., Ghazali, N. F. M., & Mohd, A. H (2017) *The input and output management of solid waste using DEA models: A case study at Jengka, Pahang*. 040057. <https://doi.org/10.1063/1.4995889>
- Orihuela Paredes, J. C. (2018) *Un análisis de la eficiencia de la gestión municipal de residuos sólidos en el Perú y sus determinantes*. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Ray, S. C. (2004) *Data envelopment analysis: Theory and techniques for economics and operations research*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511606731>
- Reyna Castillo, M. Á., Jiménez Ferretiz, L. E., & Marín Yáñez, T. (2017) *Manejo de residuos sólidos urbanos (RSU) en la administración municipal de Tampico, Tamaulipas*. La participación de la comunidad como parte interesada. XXII Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática, Ciudad de México. https://investigacion.fca.unam.mx/memoria_2017.php
- Rodríguez-Díaz, A., Díaz-Mendoza, C., Pasqualino, J., & Bahamón-Restrepo, A. (2022) *Análisis comparativo de los planes de gestión de residuos sólidos de Bogotá D.C y Ciudad de México*. Producción + Limpia, 17(1), 112-135. <https://doi.org/10.22507/pml.v17n1a7>
- Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016) *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-guia-general-la-gestion-residuos-solidos-domiciliarios>
- Sánchez-Bayón, A., A. Urbina, D., Alonso-Neira, M. Á., & Arpi, R. (2023) *Problema del conocimiento económico: Revitalización de la disputa del método, análisis heterodoxo y claves de innovación docente*. Bajo Palabra, 34, 117-140. <https://doi.org/10.15366/bp2023.34.006>
- Sánchez-Muñoz, M. D. P., Cruz-Cerón, J. G., & Maldonado-Espinel, P. C. (2020) *Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: Un análisis desde la perspectiva de la generación*. Revista Finanzas y Política Económica, 11(2), 321-336. <https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2019.11.2.6>
- Tobin, J. (1958) *Estimation of relationships for limited dependent variables*. Econometrica, 26(1), 24-36. <https://doi.org/10.2307/1907382>
- Wooldridge, J. M. (2010) *Econometric analysis of cross section and panel data (2nd ed)*. MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/9780262232586/econometric-analysis-of-cross-section-and-panel-data/>
- Zhou, A., Wang, W., Chu, Z., & Wu, S. (2022) *Evaluating the efficiency of municipal solid waste collection and disposal in the yangtze river delta of China: A dea-model*. Journal of the Air & Waste Management Association, 72(10), 1153-1160. <https://doi.org/10.1080/10962247.2022.2077473>