



# Economic valuation for the improvement of the drinking water system in San Diego, Texcoco, Estado de México

## Valoración económica por la rehabilitación del sistema de agua potable en San Diego, Texcoco, Estado de México

Juan M. Sánchez-Balderas; Marco A. López-Santiago\*;  
Ramon Valdivia-Alcalá; José L. Romo-Lozano

Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Económico-Administrativas. km  
38.5 carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Texcoco, Estado de México, México.

\*Corresponding author: marcoandres@chapingo.uruza.edu.mx; tel.: +52872 109 1093.

### Abstract

**Introduction.** Due to significant population growth, the San Diego Tlailotlacan Drinking Water System, located in the municipality of Texcoco, Estado de México, faces challenges in maintaining its water distribution network, particularly in improving the frequency and quality of the supply.

**Objective.** To estimate users' willingness to pay (WTP) for the improvement of the hydraulic network to enhance the quality and reliability of the drinking water service.

**Materials and methods.** The Contingent Valuation Method (CVM) was applied using a dichotomous choice referendum format to estimate WTP for a hypothetical improvement in the drinking water service. WTP was calculated using both parametric and non-parametric estimation methods.

**Results.** The mean WTP was 37.29 MXN using the parametric method and 31.25 MXN using non-parametric methods. The confidence intervals for both estimates overlapped. The most significant variables were the amount to be paid, economic dependents, education level and economic fee discount. Users receiving fee discount (discounts on water bill) demonstrated a lower willingness to pay for service improvements.

**Conclusions.** The total annual value for the improvement was estimated at 1210880.00 MXN for the hydraulic network improvement. It is recommended to use the non-parametric estimation method as a complement to the parametric method to assess the consistency of the latter, especially when facing variations in model specification.

**Keywords:** willingness to pay, parametric estimation, econometric model, hydraulic network, contingent valuation.

### Resumen

**Introducción.** Debido al crecimiento poblacional significativo, el Sistema de Agua Potable San Diego Tlailotlacan, en el municipio de Texcoco, Estado de México, enfrenta desafíos en el mantenimiento de la red de agua potable, tales como la mejora en la frecuencia y calidad del suministro.

**Objetivo.** Estimar la disposición a pagar (DAP) de los usuarios de agua potable para la rehabilitación de la red hidráulica con el fin de mejorar la calidad y abastecimiento del servicio.

**Materiales y métodos.** Se usó el método de valoración contingente (MVC) con formato dicotómico tipo referéndum, para estimar la DAP por una propuesta hipotética de mejora del servicio de agua potable. La DAP se obtuvo a través de los métodos de estimación paramétrico y no paramétrico.

**Resultados.** La DAP media fue de 37.29 MXN para la estimación paramétrica y 31.25 MXN para los métodos no paramétricos. Los intervalos de confianza de ambos métodos se traslaparon. Las variables más significativas fueron el monto a pagar, los dependientes económicos, el grado de escolaridad y el apoyo económico. Los usuarios que reciben apoyo (descuentos en los recibos de pago) tienen menor DAP por la mejora del servicio de agua potable.

**Conclusiones.** El valor total por la mejora se estimó en 1210880.00 MXN anuales para la rehabilitación de la red hidráulica. Se recomienda utilizar el método de estimación no paramétrico como complemento al método paramétrico, para evaluar la solidez de este último, especialmente ante variaciones en la especificación del modelo.

**Palabras clave:** disposición a pagar, estimación paramétrica, modelo econométrico, red hidráulica, valoración contingente.

Please cite this article as follows (APA 7): Sánchez-Balderas, J. M., López-Santiago, M. A., Valdivia-Alcalá, R., & Romo-Lozano, J. L. (2025). Economic valuation for the improvement of the drinking water system in San Diego, Texcoco, Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 31, e24043. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2024.09.043>



## Introduction

The population in the eastern area of the Valley of Mexico has increased considerably. According to data from the 2020 Population and Housing Census (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020), the region has 6 959 035 inhabitants, accounting for nearly 40 % of the total population of Estado de México. In this context, it is unsurprising that water resources have been diminished. According to the Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2023), eight of the nine aquifers in Estado de México are overexploited; that is, their average annual availability of groundwater shows a deficit. This is the case with the Texcoco aquifer (1507), which supplies the municipality of the same name and its surrounding areas. The aquifer has a deficit of  $149.805 \text{ hm}^3\text{-yr}^{-1}$ , representing 100 % extraction relative to its recharge capacity (SEMARNAT, 2023). Considering this scenario, the San Diego Tlailotlacan Drinking Water System, located in the community of the same name in the municipality of Texcoco, faces a challenging situation.

The reduction in quantity, frequency, and quality of water from an aquifer, resulting from overexploitation, directly impacts the quality of life of households. In the study area, this has fostered a culture of nonpayment, which generates deficits in effective governance of the water system (Silva Rodríguez, 2015). The problem of non-payment is so severe that, according to the report from the San Diego Tlailotlacan Drinking Water Committee, A.C. (2018), half of the 2 706 users have outstanding debts or payment delays of up to 15 years. Consequently, the lack of revenue prevents adequate maintenance of the network and wells, leading to deterioration, leaks, and water wastage. Moreover, uncontrolled water distribution facilitates illegal connections, which exacerbate economic losses and system inefficiency (Comité de Agua Potable San Diego Tlailotlacan, A. C., 2018).

Currently, in the community of San Diego, the monthly service fee is 70.00 MXN, totaling 840.00 MXN annually. Users who pay for the entire year in advance receive a one-month service waiver, reducing the fee to 770.00 MXN. Additionally, there is a subsidy covering half of the service cost (420.00 MXN annually) for vulnerable groups such as senior citizens, single mothers, and persons with disabilities (Comité de Agua Potable San Diego Tlailotlacan, A. C., 2018).

To improve the system's sustainability, measures have been proposed to optimize water usage. These include the installation of flow-regulating dosing valves and user-specific valves to restrict supply to users with outstanding debts, as an incentive for timely payment. Rehabilitation of the well and repair of leaks in the

## Introducción

La población de la zona oriente del Valle de México ha aumentado considerablemente. Según datos del Censo de Población y Vivienda 2020 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020), la región cuenta con 6 959 035 habitantes, casi 40 % de la población total del Estado de México. En este contexto, no es de extrañar que el recurso hídrico sea mermado. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2023), ocho de los nueve acuíferos del Estado de México están sobreexplotados; es decir, su disponibilidad media anual de agua subterránea presenta déficit. Tal es el caso del acuífero Texcoco (1507) que alimenta al municipio homónimo y sus alrededores. El acuífero cuenta con un déficit de  $149.805 \text{ hm}^3\text{-año}^{-1}$ , lo que representa una extracción del 100 % respecto a su capacidad de recarga (SEMARNAT, 2023). Dado este panorama, el Sistema de Agua Potable San Diego Tlailotlacan, situado en la comunidad del mismo nombre en el municipio de Texcoco, se enfrenta a una situación problemática.

La disminución en la cantidad, frecuencia y calidad del agua de un acuífero, derivada de la sobreexplotación, impacta directamente en la calidad de vida de los hogares; para la zona de estudio, crea un escenario de una cultura de impago que genera déficit en la gobernanza efectiva del sistema de agua (Silva Rodríguez, 2015). El problema de la morosidad es tan grave que, según el informe del Comité de Agua Potable San Diego Tlailotlacan, A. C. (2018), la mitad de los 2 706 usuarios tienen adeudo o retraso en sus pagos de hasta 15 años. En consecuencia, la falta de ingresos impide el mantenimiento adecuado de la red y los pozos, situación que causa deterioro, fugas y desperdicio del recurso. Además, la distribución descontrolada del agua facilita tomas clandestinas, lo que agrava las pérdidas económicas y la ineficiencia del sistema (Comité de Agua Potable San Diego Tlailotlacan, A. C., 2018).

Actualmente, en la comunidad de San Diego, la cuota por servicio es de 70.00 MXN mensuales, dando un total de 840.00 MXN al año. A los usuarios que pagan su año por adelantado se les condona un mes de servicio, dejando la cuota en MXN 770.00. Por otro lado, existe un apoyo de la mitad del costo del servicio (420.00 MXN anuales) a grupos vulnerables como adultos mayores, madres solteras y personas con capacidades limitadas (Comité de Agua Potable San Diego Tlailotlacan, A. C., 2018).

Con el fin de mejorar la sostenibilidad del sistema se han propuesto medidas para la optimización del uso del agua. Entre ellas, la instalación de válvulas dosificadoras para regular el flujo de agua y válvulas por toma que restrinjan el suministro a usuarios con adeudos, como medida de incentivación del pago. También se contempla la rehabilitación del pozo y la

hydraulic network are also planned, both of which are key actions to reduce waste and improve efficiency in water extraction and distribution. These improvements aim to optimize use through a more equitable distribution, thereby alleviating pressure on the aquifer and promoting more sustainable management.

Efficient water management could contribute to the financial sustainability of the water system; for example, in the study by Huaraca et al. (2021), users indicated willingness to pay as long as they receive permanent service. In this context, improved management would enable financing for operations, maintenance, and infrastructure improvement. Commonly reported measures to improve water services include pipeline maintenance, leak reduction, installation of water meters (Sandoval et al., 2016; Valdivia et al., 2022), wastewater treatment, and river rehabilitation (Avilés et al., 2010; Valdivia et al., 2011).

To determine appropriate increases in drinking water service fees, economic valuation methods can be employed. Among these, the Contingent Valuation Method (CVM) is particularly useful for estimating the economic value of environmental resources that lack a real market – such as water. CVM involves presenting respondents with the current state of a non-market good, outlining a potential improvement, and then asking whether they would be willing to pay for that improvement (Perez-Verdin et al., 2016).

In Latin America, and specifically in Peru, Tudela (2017) applied CVM to assess a wastewater treatment project in Puno and found an average WTP of 1.46 USD per person per month. Similarly, Cahui et al. (2019) studied key factors influencing WTP for water and sanitation projects in Peru, highlighting the importance of socioeconomic variables such as income, age, and education level.

Most studies related to water use CVM to estimate economic benefits (Pérez-Verdín et al., 2016). In general, economic valuation models for water resources show that factors such as price, age, education level, household size, and gender, as well as service frequency and proximity to the resource, significantly influence WTP (Huaraca et al., 2021; Parillo, 2022; Quispe et al., 2021). Despite the widespread application and advantages of CVM, the method also faces several limitations, including strategic bias, design bias, payment vehicle, information, hypothetical bias, starting point bias, and operational bias (Avilés et al., 2010). Additionally, since WTP only reflects an intention to pay rather than an actual financial commitment (Ramírez et al., 2022), it is often overestimated. To minimize these biases, it is essential to ensure the careful design and implementation of the questionnaire instrument.

reparación de fugas en la red hidráulica, acciones clave para reducir el desperdicio y mejorar la eficiencia en la extracción y distribución del agua. Estas mejoras buscan la optimización del uso mediante una distribución más equitativa, con el fin de aliviar la presión sobre el acuífero y promover el manejo más sustentable.

La gestión eficiente del agua podría apoyar la sostenibilidad financiera del sistema de agua; por ejemplo, en el estudio de Huaraca et al. (2021), los usuarios indicaron disposición para cumplir con los pagos siempre y cuando reciban servicio permanente. En este sentido, la mejora en la gestión permitiría financiar la operación, el mantenimiento y rehabilitaciones en la infraestructura. Las medidas comúnmente reportadas para mejorar los servicios de agua son: mantenimiento de tuberías, reducción de fugas, instalación de medidores de agua (Sandoval et al., 2016; Valdivia et al., 2022), tratamiento de aguas residuales y rehabilitación de ríos (Avilés et al., 2010; Valdivia et al., 2011).

Para una determinación óptima de los incrementos en los montos de pago del servicio de agua potable se tienen los métodos de valoración económica. En particular, el Método de Valoración Contingente (MVC) permite la estimación del valor económico de recursos ambientales sin mercado real, como el agua. El planteamiento del MVC consiste en describir la situación actual de un bien sin mercado, cómo puede mejorarse y, a continuación, preguntar a los encuestados si pagarían por esa mejora (Perez-Verdin et al., 2016).

En América Latina, específicamente en Perú, Tudela (2017) aplicó el MVC para la valoración de un proyecto de tratamiento de aguas residuales en Puno y encontró una disposición a pagar (DAP) promedio de 1.46 USD mensuales por persona. También Cahui et al. (2019) estudiaron los factores clave en la DAP para proyectos de agua y saneamiento en Perú y destacaron la relevancia de las variables socioeconómicas como el ingreso, edad y educación.

La mayoría de los estudios relacionados con el agua utilizan el MVC para estimar los beneficios económicos (Perez-Verdin et al., 2016). En general, en los modelos de estudios de valoración económica del agua, factores como el precio, edad, escolaridad, tamaño de la familia y sexo, así como la frecuencia de servicio y la proximidad al recurso influyen significativamente en la DAP (Huaraca et al., 2021; Parillo, 2022; Quispe et al., 2021). A pesar de las aplicaciones y beneficios del MVC, el método también enfrenta limitaciones como el sesgo estratégico, de diseño, vehículo de pago, información, sesgo hipotético, de punto de partida y operación (Avilés et al., 2010). Del mismo modo, el hecho de que la DAP refleje solo una intención de pago, y no un compromiso real (Ramírez et al., 2022), hace que esta pueda ser sobrestimada. Para minimizar los sesgos es

Studies on the valuation of water resources, both in terms of quality and supply for urban use, have shown variations in WTP depending on the context and the socioeconomic characteristics of the population. In some cases, WTP is high, indicating strong support for proposed measures and their financial feasibility (Sandoval et al., 2016; Valdivia et al., 2022). However, other studies have reported that fewer than half of users are willing to pay a significant additional amount (Briseño & Macedo, 2021), or that WTP values are too low to cover the costs of project implementation (Suárez et al., 2023). In such cases, researchers have highlighted the need to combine the resources of utility operators with funding from various levels of government to make valuation projects viable (Aguilar & De la Rosa, 2018).

In this context, the main objective of the study was to estimate the WTP of potable water service users in San Diego, Texcoco, Estado de México, for the rehabilitation of the water distribution network to improve service quality and supply. The specific objectives were: (a) to develop an econometric model for WTP, and (b) to compare the results obtained through parametric and non-parametric estimation methods.

## Materials and Methods

### Study area

San Diego is a community located in the municipality of Texcoco, Estado de México, situated at approximately 19.5° latitude and -98.8° longitude (Figure 1). The community has an estimated population of 7266 residents and a total of 2083 households (INEGI, 2020).

The community is served by a local water utility organization known as *Sistema de Agua Potable San Diego Tlalotlacan, A.C.*, which consists of an administrative committee and technical staff. The utility's registry includes 2706 users with a registered water connection.

### Sample design and questionnaire

Based on the population of 2706 registered users reported by the Comité de Agua potable (water committee) de San Diego, the sample size ( $n$ ) for a finite population was determined using the formula proposed by Anderson et al. (2008):

$$n = \frac{N * Z^2_{\alpha} * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2_{\alpha} * p * q}$$

where,

N = population

Z = statistical parameter depending on the confidence level 1.96 ( $\alpha = 0.05$ )

e = margin of error of 0.05

importante una buena estructuración y aplicación del instrumento cuestionario.

Los estudios sobre valoración de recursos hídricos, tanto en calidad como en abastecimiento para uso urbano, han mostrado variaciones en la DAP según el contexto y las características socioeconómicas de la población. En algunos casos, la DAP es elevada, lo que indica un respaldo alto a las medidas propuestas y su viabilidad financiera (Sandoval et al., 2016; Valdivia et al., 2022); sin embargo, otros estudios han reportado menos de la mitad de los usuarios dispuestos a pagar un monto adicional significativo (Briseño & Macedo, 2021) o con valores de DAP demasiado bajos para cubrir los costos de implementación de los proyectos (Suárez et al., 2023). En estos casos, se ha señalado la necesidad de combinar los recursos de los organismos operadores con financiamiento proveniente de los niveles de gobierno para hacer viables los proyectos de valoración (Aguilar & De la Rosa, 2018).

En tal contexto, el objetivo principal del trabajo fue estimar la DAP de los usuarios del servicio de agua potable de San Diego, Texcoco, Estado de México, para la rehabilitación de la red hidráulica con el fin de mejorar la calidad y abastecimiento en el servicio. Los objetivos particulares fueron a) obtener un modelo econométrico para la DAP y b) comparar los resultados por los métodos de estimación paramétrico y no paramétrico.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

San Diego es una población perteneciente al municipio de Texcoco, en el Estado de México, se ubica entre la latitud 19.5° y longitud -98.8° (Figura 1). La comunidad tiene aproximadamente 7266 habitantes con un total de 2083 viviendas (INEGI, 2020).

La comunidad cuenta con un organismo operador denominado "Sistema de Agua Potable San Diego Tlalotlacan, A. C." que se constituye por su comité administrativo y personal técnico. El padrón se compone de 2706 usuarios con toma registrada.

### Diseño de la muestra y cuestionario

Con base en la población de 2706 usuarios registrados por el Comité de Agua potable de San Diego, se utilizó la fórmula propuesta por Anderson et al. (2008) para el tamaño de muestra ( $n$ ) en una población finita:

$$n = \frac{N * Z^2_{\alpha} * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2_{\alpha} * p * q}$$

donde,

N = población

Z = parámetro estadístico que depende del nivel de

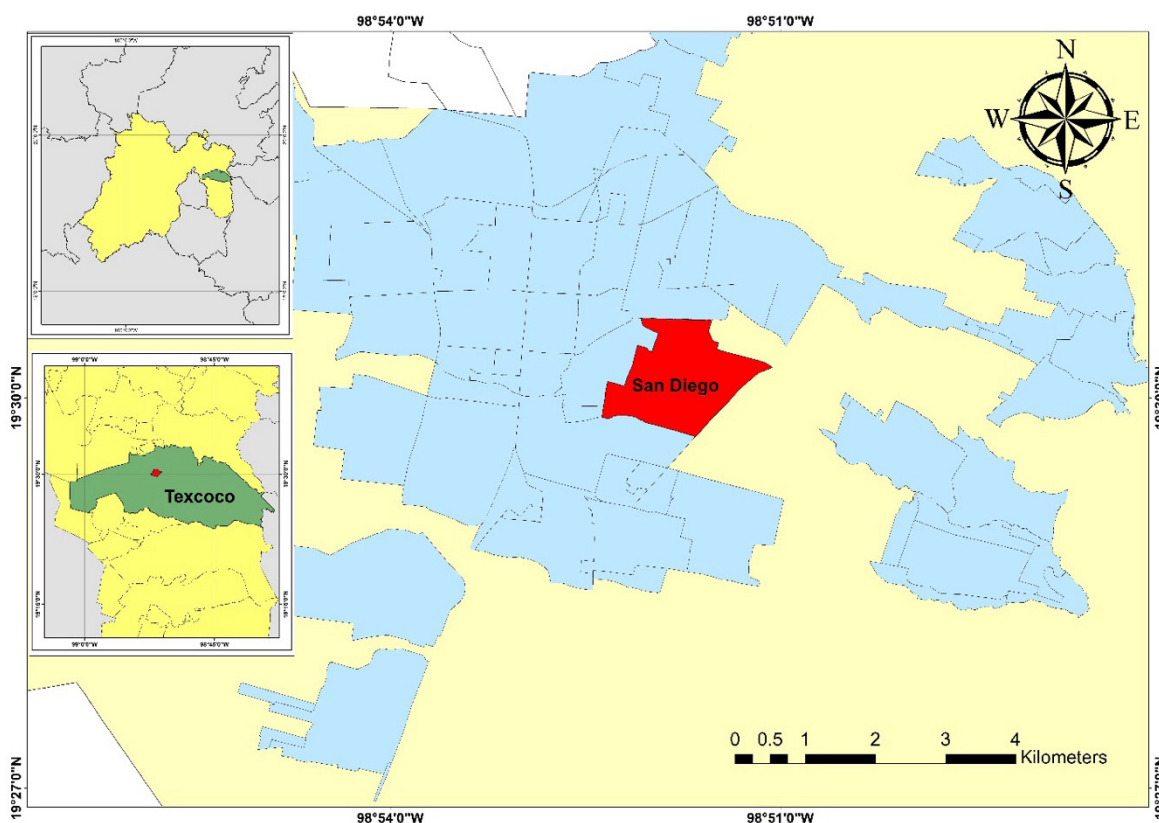


Figure 1. Location of San Diego in the municipality of Texcoco, Estado de México. Source: Compiled by the author.

Figura 1. Ubicación de San Diego en el municipio de Texcoco, Estado de México. Fuente: Elaboración propia.

$p$  = probability of occurrence of the studied event (success) 0.5

$q$  = probability that the event does not occur (failure).

Based on the data presented, the sample size was 337. For reasons of practicality and given the payment amounts explained in later sections, 340 questionnaires were applied.

A pilot survey was conducted to adjust some confusing or redundant questions and especially to define the WTP amounts (Ccasani et al., 2023). In the pilot test, 20 questionnaires were applied. The WTP question was in open-ended format "What is the maximum amount you would be willing to pay for the improvement of the water network?". With this, the five referendum amounts were obtained: 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 and 50.00 MXN.

Regarding the final questionnaire, this was divided into three sections:

- a) General Information Section. Users were asked about various aspects of the water service. The characteristics of frequency, pressure, quality, and odor of water were evaluated using a five-point

confianza 1.96 ( $\alpha = 0.05$ )

$e$  = error de estimación máximo aceptado de 0.05

$p$  = probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito) del 0.5

$q$  = probabilidad de que no ocurra el evento (fracaso).

Con base en los datos presentados, el tamaño de muestra fue de 337. Por motivos de practicidad y dados los montos de pago que se explican en secciones posteriores, se aplicaron 340 cuestionarios.

Se realizó una encuesta piloto para ajustar algunas preguntas confusas o redundantes y sobre todo para definir los montos de la DAP (Ccasani et al., 2023). En la prueba piloto se aplicaron 20 cuestionarios. La pregunta de la DAP fue en formato abierto ¿Cuál es la cantidad máxima que estaría dispuesto a pagar por la mejora de la red de agua?. Con ello, se obtuvieron los cinco montos de referéndum: 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 y 50.00 MXN.

En lo que respecta al cuestionario final, este se dividió en tres secciones:

- a) Sección de información general. Se preguntó al usuario sobre aspectos del servicio. Las características

Likert scale: very poor, poor, fair, good, and very good, according to each user's perception.

b) Willingness to Pay (WTP) Section. This section included a description of the problems in the potable water network, as well as a proposed rehabilitation project as a solution. The purpose was to ensure that users were fully informed when responding to the question: "Would you be willing to pay \_\_\_ pesos per month (in addition to your current water bill) to contribute in the rehabilitation of the water network?" Users were also asked to provide the reason for their response.

c) Finally, the demographic data section included the socioeconomic characteristics of the users.

The WTP question for the final version of the instrument was formulated in a dichotomous referendum format, where all possible proposals of amounts from the surveyor are randomly distributed among the respondents (Tudela, 2008).

#### Willingness to pay (WTP) estimation using the parametric method

The parametric analysis involves two key steps: selecting the functional form of the utility function and specifying the distribution of the error term. Based on the literature review, the most commonly used distribution is the logistic distribution (Cahui et al., 2019; Parillo, 2022):

$$Pr(SI_j) = F_{\eta}(\Delta v) = \frac{1}{1 + \text{Exp}^{-(\alpha + \beta P)}}$$

Assuming a linear functional form in the income (Cahui et al., 2019; Ccasani et al., 2023), the mean willingness to pay can be estimated using the formulation provided by Haab and McConnell (2002):  $P^* = DAP_{MEDIA} = -\frac{\alpha}{\beta}$ ; where  $\alpha$  is the sum of the coefficients of the independent variables multiplied by their respective means, including the intercept, and  $\beta$  is the coefficient of the WTP variable.

#### Econometric model of willingness to pay (WTP)

The socioeconomic variables considered in the valuation model included: income (INC), gender, age, education (EDU), and number of economic dependents (ND). These variables are commonly found to be significant in studies related to water services (Cahui et al., 2019; Perez-Verdin et al., 2016).

Fee discount was an additional variable incorporated into the model. Fee discount consists of a subsidy covering half the cost of the service for senior citizens, single mothers, and individuals with disabilities. This

de frecuencia, presión, calidad y olor del agua se calificaron en una escala de muy malo, malo, regular, bueno y muy bueno, según la percepción de cada usuario.

b) En la sección de la DAP se describieron los problemas en la red de agua potable, así como el escenario del proyecto de rehabilitación como propuesta de solución. Esto se realizó con la finalidad de que el usuario estuviera totalmente informado a la hora de responder la pregunta "¿Estaría dispuesto a pagar \_\_\_ pesos por mes (adicional a lo que paga en su recibo de agua) para invertir en la rehabilitación de la red de agua?" y el motivo de su respuesta.

c) Finalmente, en la sección de datos demográficos se indagó sobre las características socioeconómicas de los usuarios.

La pregunta de la DAP para la versión final del instrumento se formuló en un formato de referéndum dicotómico, donde todas las posibles propuestas de montos del encuestador se distribuyen aleatoriamente entre los encuestados (Tudela, 2008).

#### Estimación de la disposición a pagar (DAP) por el método paramétrico

El análisis paramétrico requiere dos pasos clave: seleccionar la forma funcional de la función de utilidad y especificar la distribución del término de error. Con base en la revisión de literatura, la distribución más utilizada es la logística (Cahui et al., 2019; Parillo, 2022):

$$Pr(SI_j) = F_{\eta}(\Delta v) = \frac{1}{1 + \text{Exp}^{-(\alpha + \beta P)}}$$

Suponiendo una forma funcional lineal en el ingreso (Cahui et al., 2019; Ccasani et al., 2023) se puede estimar la DAP con la fórmula propuesta por Haab y McConnell (2002):  $P^* = WTP_{MEAN} = -\frac{\alpha}{\beta}$ ; donde  $\alpha$  es la suma de los coeficientes de las variables independientes multiplicadas por su media, incluida la ordenada al origen, y  $\beta$  es el coeficiente de la variable DAP.

#### Modelo econométrico de la disposición a pagar (DAP)

Las variables socioeconómicas consideradas para la valoración fueron: ingreso (ING), sexo, edad, escolaridad (ESC) y dependientes económicos (DEPEC). Dichas variables son las más relevantes en estudios relacionados con los servicios hídricos (Cahui et al., 2019; Perez-Verdin et al., 2016).

La variable 'apoyo' fue una variable extra que se agregó al modelo. El apoyo consiste en un subsidio de la mitad del precio del servicio a adultos mayores, madres solteras y personas con capacidades limitadas.

variable was included because 30 % of the registered users benefit from this subsidy (Comité de Agua Potable San Diego Tlalotlacan, A. C., 2018).

The function assumed to explain WTP of the residents of San Diego for the improvement of the potable water distribution network can be represented as follows:

$$\Pr(IF) = B_0 + B_1INC + B_2GEN + B_3AGE + B_4EDU + B_5ND + B_6SUP + B_7WTP + \varepsilon$$

Where,  $\Pr(IF)$  is a dichotomous dependent variable representing the probability of responding affirmatively YES = 1 or negatively NO = 0, while the remaining variables are independent (Table 1).

To test the null hypothesis of a relationship among the variables, the Chi-square test was applied. Furthermore, the marginal effects of the independent variables on the dependent variable were analyzed to assess how each factor influences the probability of agreeing to pay. Thus, the marginal rate of change in the probability of the event occurring with respect to changes in the explanatory variables was calculated as:  $dP_i/dX_i = \beta_i P_i(1-P_i)$ .

La variable se consideró debido a que 30 % del padrón de usuarios goza de este beneficio (Comité de Agua Potable San Diego Tlalotlacan, A. C., 2018).

La función que se asume pueda explicar la DAP de los habitantes de San Diego por rehabilitación de la red de agua potable, se puede representar de la siguiente manera:

$$\Pr(SI) = B_0 + B_1ING + B_2SEXO + B_3EDAD + B_4ESC + B_5DEPEC + B_6APOYO + B_7DAP + \varepsilon$$

Donde,  $\Pr(SI)$  es una variable dependiente dicotómica que representa la probabilidad de responder de forma afirmativa SÍ = 1 o negativa NO = 0, mientras que las demás variables son independientes (Cuadro 1).

Para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula de relación de las variables se utilizó la prueba de Chi-cuadrada. Asimismo, los efectos marginales de las variables independientes sobre la variable dependiente se consideraron para determinar el efecto de cada una de estas sobre la probabilidad de aceptar el pago. De esta manera, la tasa marginal de cambio en la probabilidad de ocurrencia del evento ante cambios en las variables explicativas fue:  $dP_i/dX_i = \beta_i P_i(1-P_i)$ .

**Table 1. Variables included in the parametric model to estimate the willingness to pay of potable water service users in San Diego, Texcoco, Estado de México, for the improvement of the water distribution network.**

**Cuadro 1. Variables incluidas en el modelo paramétrico para estimar la disposición a pagar de los usuarios del servicio de agua potable de San Diego, Texcoco, Estado de México, por la rehabilitación de la red hidráulica.**

Variable	Definition/Definición	Scale/Escala	Expected sign/Signo esperado
INC/ING	Income/Ingreso	INC/ING ≤ 3 000 MXN = 1, 3,001 MXN ≤ INC/ING ≤ 6 000 MXN = 2 6,001 MXN ≤ INC/ING ≤ 9 000 MXN = 3 9,001 MXN ≤ INC/ING ≤ 12 000 MXN = 4 12,001 MXN ≤ INC/ING ≤ 15 000 MXN = 5 INC/ING > 15,000 MXN = 6	Positive/ Positivo
GEN/SEXO	Gender/Sexo	Male = 1, Female = 0/Hombre = 1, Mujer = 0	Positive/negative/ Positivo/negativo
AGE/EDAD	Age/Edad	Numeric/Numérico	Positive/negative/ Positivo/negativo
EDU/ESC	Education level/ Escolaridad	No education = 1, Elementary school = 2, Secondary school = 3, High school = 4, University/unfinished degree = 5, Graduate studies = 6/ Sin estudio = 1, Primaria = 2, Secundaria = 3, Bachillerato = 4, Licenciatura/carrera técnica = 5, Posgrado = 6	Positive/ Positivo
ND/DEPEC	Number of economic dependents/ Dependientes económicos	Numeric/Numérico	Negative/ Negativo
SUP/APOYO	50 % of the population benefit from fee discount/ Cuentan con apoyo económico 50 %	Receiving fee discount = 1, No financial fee discount = 0/ Con apoyo = 1, Sin Apoyo = 0	Positive/negative/ Positivo/negativo
WTP/DAP	Bid price/Precio de oferta	Pesos (MXN) per month that the respondent would pay/ Pesos (MXN) por mes que pagaría el encuestado	Negative/ Negativo
	Random error term/ Termino de error aleatorio		

Source: Compiled by the author.

Fuente: Elaboración propia.

### Estimation of willingness to pay (WTP) using the non-parametric method

The non-parametric model analyzes the proportion of negative responses ( $k_i$ ) to the proposed payment amounts ( $A_i$ ) in the survey, distributed in subgroups to represent various WTP levels, where  $A_1 < A_2 < \dots < A_{k-1}$  and  $k \geq 2$ . Responses are obtained from  $m_1, m_2, \dots, m_{k-1}$  individuals. For each subgroup  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, k-1$ ) the percentage  $h_i$  of individuals accepting the proposed amount  $A_i$  is recorded, generating a series of decreasing proportions ( $p_i$ ), which ideally follows a downward-sloping demand curve (López et al., 2017):  $\hat{p}_i = \frac{h_i}{m_i}$ .

If the data do not follow this trend, they are adjusted using the Pooled Adjacent Violator Algorithm (PAVA), which creates an ordered sequence of responses. This sequence becomes a maximum likelihood estimator for the probability of accepting the price, in accordance with Ayer's theorem (Flores, 2017).

The procedure yields a number of points based on the unknown WTP in the sample; that is, the demand curve,  $\hat{p}(A) = \widehat{D}(A)$ , which is related to the empirical cumulative distribution function (CDF),  $\widehat{F}(A)$ , such that  $\hat{p}(A) = 1 - \widehat{F}(A)$ . The function is generally referred to as a survival function. To estimate the mean WTP, it is necessary to have additional information about the behavior of  $\hat{p}(A)$  between the observed points and in the tails of the distribution. For this purpose, Boman et al. (1999) apply linear interpolation. In this way, the expected value of WTP,  $\mu$ , can be estimated by (Boman et al., 1999; López et al., 2017):

$$F(A) = \text{Pr o b}(WTP \leq A)$$

$$D(A) = 1 - F(A)$$

$$\mu = E(WTP)$$

$$\mu = \int_0^{A_k} (1 - F(A))dA - \int_{A_0}^0 F(A)dA; \text{ where, } A_0 \leq 0$$

The above relationship suggests an estimator of the mean WTP:

$$\hat{\mu} = \int_0^{A_k} (1 - \widehat{F}(A))dA - \int_{A_0}^0 \widehat{F}(A)dA$$

Which is equivalent to:

$$\hat{\mu} = \int_0^{A_k} \hat{p}(A)dA - \int_{A_0}^0 (1 - \hat{p}(A))dA$$

To ensure consistent values, the lower limit assumes  $p(0) = 1$  (a positive willingness to pay), and the upper limit is adjusted until affirmative responses approach zero at high levels of  $A_i$ . According to Boman et al. (1999), the mean and variance can be calculated using the adjusted proportions shown in Table 2.

### Estimación de la disposición a pagar (DAP) por el método no paramétrico

El modelo no paramétrico examina la proporción de respuestas negativas ( $k_i$ ) a las ofertas de pago ( $A_i$ ) en la encuesta, distribuidas en subgrupos para representar diversos niveles de DAP donde  $A_1 < A_2 < \dots < A_{k-1}$  y  $k \geq 2$ . Se obtienen las respuestas de  $m_1, m_2, \dots, m_{k-1}$  individuos. Para cada subgrupo  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, k-1$ ) se registra el porcentaje  $h_i$  de personas que aceptan el monto propuesto  $A_i$ , generando una serie de proporciones decrecientes ( $p_i$ ), que idealmente sigue una curva de demanda decreciente (López et al., 2017):  $\hat{p}_i = \frac{h_i}{m_i}$ .

Si los datos no cumplen esta tendencia, se ajustan con el algoritmo PAVA (Pooled Adjacent Violator Algorithm), creando una secuencia ordenada de respuestas. Esta secuencia se convierte en un estimador de máxima verosimilitud para la probabilidad de aceptar el precio, de acuerdo con el teorema de Ayer (Flores, 2017).

El procedimiento da un número de puntos en función de la DAP desconocida en la muestra; es decir, la curva de demanda,  $\hat{p}(A) = \widehat{D}(A)$ , la cual está relacionada con la función de distribución acumulativa empírica (FDA),  $\widehat{F}(A)$ , de ahí que  $\hat{p}(A) = 1 - \widehat{F}(A)$ . La función se conoce generalmente como una función de supervivencia. A fin de obtener la DAP media, se necesita tener más información sobre el comportamiento de  $\hat{p}(A)$  entre esos puntos y en las colas; para tal fin, Boman et al. (1999) utilizan la interpolación lineal. De esta manera el valor esperado de la DAP,  $\mu$ , puede ser estimado mediante (Boman et al., 1999; López et al., 2017):

$$F(A) = \text{Pr o b}(DAP \leq A)$$

$$D(A) = 1 - F(A)$$

$$\mu = E(DAP)$$

$$\hat{\mu} = \int_0^{A_k} (1 - \widehat{F}(A))dA - \int_{A_0}^0 \widehat{F}(A)dA; \text{ donde, } A_0 \leq 0$$

La relación anterior sugiere un estimador de la media de la DAP:

$$\hat{\mu} = \int_0^{A_k} (1 - \widehat{F}(A))dA - \int_{A_0}^0 \widehat{F}(A)dA$$

El cual es equivalente a:

$$\hat{\mu} = \int_0^{A_k} \hat{p}(A)dA - \int_{A_0}^0 (1 - \hat{p}(A))dA$$

Para asegurar valores coherentes, el límite inferior asume  $p(0) = 1$  (disposición a pagar positiva) y el límite superior se ajusta hasta que las respuestas afirmativas tienden a cero a niveles altos de  $A_i$ . Según Boman et al. (1999), la media y la varianza se pueden calcular con las proporciones ajustadas del Cuadro 2.

Regarding the variance formulas proposed by Boman et al. (1999), Vaughan and Rodríguez (2000) argue that they are conceptually incorrect, as they treat the bid amounts rather than the proportions of the subsamples as random variables, when in fact these bids are constants. Vaughan and Rodríguez (2000) suggest using the formulas developed by Haab and McConnell (Table 3), which treat respondents' reactions as the true random variables and provide a more accurate estimate of the variance.

**Comparison of parametric and non-parametric estimates**

To compare welfare measures, confidence intervals were employed, following the methodology of López et al. (2017) and Vilca and Coila (2018) for both parametric and non-parametric procedures. The confidence intervals for the non-parametric method are presented in Table 2. For the parametric method, the Krinsky and Robb simulation procedure was used (López et al., 2017). The WTPCIKR command in the STATA software was employed, with 5000 iterations and a 95 % confidence level (Jeanty, 2008).

Respecto a las fórmulas de varianza de Boman et al. (1999), Vaughan y Rodríguez (2000) sostienen que son conceptualmente incorrectas porque tratan a la oferta, no las proporciones de las submuestras como variables aleatorias, cuando en realidad son constantes. Vaughan y Rodríguez (2000) sugieren las fórmulas de Haab y McConnell (Cuadro 3) que consideran las reacciones de los encuestados como las variables aleatorias y proporcionan una estimación más precisa de la varianza.

**Comparación de las estimaciones paramétricas y no paramétricas**

Para la comparación de las medidas de bienestar, se utilizaron intervalos de confianza al igual que en López et al. (2017) y Vilca y Coila (2018) en ambos procedimientos (no paramétricos y paramétricos). Los intervalos del método no paramétrico se presentan en el Cuadro 2. Por otro lado, para el método paramétrico se empleó el procedimiento de Krinsky y Robb (López et al., 2017). Se utilizó el comando especial WTPCIKR del programa STATA donde se aplicaron 5000 iteraciones con un nivel de confianza de 95 % (Jeanty, 2008).

**Table 2. Mean and variance formulas from Boman et al. (1999) used in non-parametric estimations.**

**Cuadro 2. Fórmulas de la media y varianza de Boman et al. (1999) utilizadas en estimaciones no paramétricas.**

Measure / Medida	Mean / Media	Variance of the mean / Varianza
Lower limit / Límite inferior	$\hat{\mu} = \sum_{i=0}^{k-1} \hat{\mu}_{i+1} ( A_{i+1}  -  A_i )$	$v\hat{a}r\hat{\mu}_l = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (A_{i+1} - \hat{\mu}_l)^2 (\hat{p}_i - \hat{p}_{i+1})}{n}$
Intermediate / Intermedia	$\hat{\mu}_l = \sum_{i=0}^{k-1} \frac{1}{2} * (A_{i+1} - A_i) (\hat{p}_i - \hat{p}_{i+1})$	$v\hat{a}r\hat{\mu}_l = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (A_{i+1} - \hat{\mu}_l)^2 (\hat{p}_i - \hat{p}_{i+1})}{n}$
Upper limit / Límite Superior	$\hat{\mu}_p = \sum_{i=0}^{k-1} \hat{\mu}_i ( A_{i+1}  -  A_i )$	$v\hat{a}r\hat{\mu}_p = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (A_{i+1} - \hat{\mu}_p)^2 (\hat{p}_i - \hat{p}_{i+1})}{n}$

**Table 3. Haab and McConnell (2002) equations for non-parametric means and variances.**

**Cuadro 3. Ecuaciones de Haab y McConnell (2002) para las medias no paramétricas y sus varianzas.**

Measure / Medida	Mean / Media	Variance of the mean / Varianza
Lower limit / Límite inferior	$\sum_{j=0}^{M+1} b_{j-1} p_j$	$\sum_{j=1}^{M+1} (b_{j-1})^2 [V(F_j) - V(F_{j-1})] - 2 \sum_{j=1}^M b_j b_{j-1} V(F_j)$
Intermediate / Intermedia	$\sum_{j=1}^{M+1} [k b_{j-1} + (1 - k) b_j] p_j$	$\sum_{j=1}^{M+1} [k b_{j-1} + (1 - k) b_j]^2 [V(F_j) + V(F_{j-1})] - 2 \sum [k b_{j-1} + (1 - k) b_j] [k b_j + (1 - k) b_{j+1}] V(F_j)$
Upper limit / Límite Superior	$\sum_{j=1}^{M+1} b_j p_j$	$\sum_{j=1}^{M+1} (b_j)^2 [V(F_j) - V(F_{j-1})] - 2 \sum_{j=1}^M b_j b_{j+1} V(F_j)$

Source: Vaughan and Rodríguez (2000). Where:  $b_j$  are the bid levels,  $N_j$  represents the number of 'No' responses and  $Y_j$  the number of 'Yes' responses in each group  $j$ .  $F_j = N_j / (N_j + Y_j)$ . There are  $j = 1, \dots, M$  distinct bid levels specified in the survey. The bid  $j = M + 1$  represents the final offer level, which the researcher must assume. This final level presumably drive  $F_j$  to 1. The variance of each proportion  $F_j$  is equal to  $V(F_j) = [F_j * (1 - F_j)] \div [N_j + Y_j]$ .

Fuente: Vaughan y Rodríguez (2000). Donde:  $b_j$  niveles de oferta de pago,  $N_j$  representa el número de respuestas 'No' y  $Y_j$  las repuestas 'SI' en cada grupo  $j$ .  $F_j = N_j / (N_j + Y_j)$ . Hay  $j = 1, \dots, M$  distintas ofertas de pago especificadas en la encuesta. La oferta  $j = M + 1$  es el último nivel de oferta que el investigador debe asumir. Presumiblemente lleva  $F_j$  a 1. La varianza de cada proporción  $F_j$  es igual a  $V(F_j) = [F_j * (1 - F_j)] \div [N_j + Y_j]$ .

In the analysis conducted for the present study, the following software tools were used: Statistical Analysis System (SAS) version 9.1, NLOGIT version 4.0.1 (Econometric Software Inc., 2007), and Stata version 14.0 (StataCorp LLC, 2015) for the parametric procedure, and Microsoft Office Excel 2016 for the non-parametric procedure.

## Results and Discussion

### Willingness to pay (WTP) by parametric estimation

Of the total sample, 56 % confirmed WTP for improvements to the water supply network, while the remainder responded negatively. From the pilot survey, it was observed that more than half of the respondents expressed no willingness to pay for the proposed improvements, even though the amounts were no more than 50.00 MXN.

In the global test of the model, the parameters were statistically significant at the 99 % confidence level. The likelihood ratio test, with a Chi-square value of 76.127 and 7 degrees of freedom, was also significant, allowing for the rejection of the null hypothesis (Table 4). The model demonstrated an overall accuracy of 70.29 %, with a sensitivity of 74.73 % and a specificity of 64.66 %. It was able to predict willingness to pay with 72.82 % accuracy and unwillingness to pay with 66.89 % accuracy.

Of the seven variables used in the model, five were significant ( $P < 0.05$ ): WTP, education level and economic dependents are significant at 99 % confidence and the variables fee discount and age at 95 %. The income variable was significant at a level of 10 %. Gender was not significant, so it was discarded from the final model. All variables presented the expected signs (Table 5).

En el análisis del presente estudio se utilizaron los programas computacionales Statistic Analysis System (SAS) versión 9.1, NLOGIT Versión 4.0.1 (Econometric Software Inc., 2007), Stata versión 14.0 (StataCorp LLC, 2015) para el procedimiento paramétrico y Microsoft Office Excel 2016 para el procedimiento no paramétrico.

## Resultados y discusión

### Disposición a pagar (DAP) por estimación paramétrica

Del total de la muestra, 56 % confirmó DAP por la mejora de la red hidráulica, mientras que el resto respondió negativamente. Desde la encuesta piloto se pudo observar que más de la mitad de los encuestados expresaron nula DAP por la mejora, a pesar de que los montos no pasaban de 50.00 MXN.

En la prueba global del modelo, los parámetros resultaron estadísticamente significativos al 99 % de confianza. La prueba de razón de verosimilitud con un valor de Chi-cuadrada de 76.127 y 7 grados de libertad también fue significativa, lo que permitió rechazar la hipótesis nula (Cuadro 4). El modelo mostró precisión de 70.29 %, con sensibilidad de 74.73 % y especificidad del 64.66 %; se logró predecir la DAP con 72.82 % de precisión y la negativa a pagar con 66.89 %.

De las siete variables utilizadas en el modelo, cinco fueron significativas ( $P < 0.05$ ): DAP, escolaridad y dependientes económicos son significativas al 99 % de confianza y las variables apoyo y edad al 95 %. Por su parte la variable ingreso fue significativa a un nivel de 10 %. La variable sexo no fue significativa, por lo que se descartó del modelo final. Todas las variables presentaron los signos esperados (Cuadro 5).

**Table 4. Statistical Fit Criteria of the logistic model for willingness to pay (WTP).**

**Cuadro 4. Criterios de ajuste estadístico del modelo logístico de la disposición a pagar (DAP).**

Parameter / Parámetro	Value / Valor
Logarithm of the likelihood function / Logaritmo de la función de verosimilitud	-195.2480
Logarithm of the restricted likelihood / Logaritmo de la verosimilitud restringida	-233.3116
Mcfadden's pseudo R <sup>2</sup> / Pseudo R <sup>2</sup> de McFadden	0.1631452
Chi-square / Chi cuadrada	76.12736
Degrees of freedom / Grados de libertad	7
Probability [Chi-square > value] / Probabilidad [Chi-cuadrada > value]	0.000001

Source: Compiled by the author based on the NLOGIT output.

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de NLOGIT.

**Table 5. Econometric model estimates of willingness to pay based on individual tests.****Cuadro 5. Parámetros obtenidos en el modelo econométrico de la disposición a pagar para pruebas individuales.**

Variable/ Variable	Coefficient/ Coeficiente	Standard error/ Error estándar	Standard error/ Error estándar	P( Z  > z)	Mean of X/ Media de X
Constant/Constante	-0.6967	0.8048	-0.866	0.3867	
Income/Ingreso	0.1783	0.1028	1.735	0.0828	2.985
Age/Edad	0.0225	0.0111	2.018	0.0435	50.379
Education level/Escolaridad	0.4490	0.1153	3.893	0.0001	3.765
Number of economic dependents/ Dependientes económicos	-0.3778	0.0972	-3.886	0.0001	2.488
Fee discount/Apoyo	-0.8567	0.3458	-2.478	0.0132	0.232
Willingness to pay/ Disposición a pagar	-0.0429	0.0091	-4.726	0.0000	30.000

Source: Compiled by the author based on the NLOGIT output.

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de NLOGIT.

Regarding the value of McFadden's pseudo-R<sup>2</sup>, the model yielded a low value (0.1631) for goodness of fit. Quispe et al. (2021) state that a value between 0.2 and 0.4 represents an optimal fit for discrete choice models. Nevertheless, values above 0.1 are considered to indicate a good fit in this type of model (Bateman et al., 2002).

The estimated probability model [P(SI)] was:

$$\Pr(SI) = -0.6966 + 0.1782INC + 0.0224GEN + 0.4490EDU - 0.3777ND - 0.8566SUP - 0.0428WTP + \varepsilon$$

The average WTP for the improvement of the potable water network, based on the parametric estimation, was:

$$WTP_{MEAN} = -\frac{1.5980}{-0.0429} = 37.289$$

Therefore, if the fee increase were applied to the 2706 registered users, it would result in a total annual amount of 1210880.00 MXN available for investment in potable water service infrastructure.

Each parameter of the model was evaluated by considering its marginal effects (Table 6). The most important variable in economic valuation studies is WTP for the improvement or hypothetical improvement scenario. In this study, the WTP coefficient indicates that an increase in price reduces the probability of a positive response –by 1 % for every additional 10.00 MXN. This finding is consistent with previous studies (Avilés et al., 2010; Cahui et al., 2019; Sandoval et al., 2016; Trujillo & Perales, 2020). Education level was also statistically significant; the probability of a positive WTP response increases by 10 % for each additional level of education, similar to the findings of Valdivia et al. (2022) and Quispe et al. (2021).

The number of economic dependents showed a negative effect. The probability of a positive WTP response decreases by 9 % for each additional dependent, which

Respecto al valor de la pseudo-R<sup>2</sup> de McFadden, el valor fue bajo (0.1631) para el ajuste del modelo estimado. Quispe et al. (2021) afirman que un valor entre 0.2-0.4 representa un ajuste óptimo de un modelo de elección discreta. No obstante, los valores superiores a 0.1 representan un buen ajuste en este tipo de modelos (Bateman et al., 2002).

El modelo de probabilidad [P(SI)] fue:

$$\Pr(SI) = -0.6966 + 0.1782ING + 0.0224EDAD + 0.4490ESC - 0.3777DEPEC - 0.8566APOYO - 0.0428DAP + \varepsilon$$

La DAP media mensual por la rehabilitación de la red de agua potable, a través de la estimación paramétrica fue:

$$DAP_{MEDIA} = -\frac{1.5980}{-0.0429} = 37.289$$

Por lo tanto, en caso de que se implemente el aumento a los 2706 usuarios del padrón, se tendría un valor total de 1210880.00 MXN anuales para invertir en la infraestructura del servicio de agua potable.

Cada parámetro del modelo se evaluó considerando los efectos marginales (Cuadro 6). La variable de mayor importancia en los estudios de valoración económica es la DAP por la mejora o escenario hipotético de mejora. En este trabajo, la DAP sugiere que un aumento en el precio reduce la probabilidad de una respuesta positiva, una disminución del 1 % por cada 10.00 MXN adicionales; dicho resultado concuerda con estudios previos (Avilés et al., 2010; Cahui et al., 2019; Sandoval et al., 2016; Trujillo & Perales, 2020). La escolaridad también resultó significativa; la probabilidad de la DAP incrementa en 10 % por cada nivel educativo, similar a los hallazgos de Valdivia et al. (2022) y Quispe et al. (2021).

El número de dependientes económicos mostró efecto negativo. La probabilidad de responder afirmativamente a la DAP disminuye en 9 % por cada

**Table 6. Marginal effects of the independent variables in the econometric model of willingness to pay (WTP).****Cuadro 6. Efectos marginales de las variables independientes del modelo econométrico de la disposición a pagar (DAP).**

Variables	$\frac{\partial P_i}{\partial x_i}$
Constant / Constante	-0.16999
Income / Ingreso	0.04350
Age / Edad	0.00549
Education level / Escolaridad	0.10956
Number of economic dependents / Dependientes económicos	-0.09218
Fee discount / Apoyo	-0.21061
Willingness to pay / Disposición a pagar	-0.01046

Source: Compiled by the author based on the NLOGIT output.

Fuente: Elaboración propia con base en la salida de NLOGIT.

contrasts with some studies where household size has a positive effect (González et al., 2016; Valdivia et al., 2022). Age has a positive influence on WTP, with the probability of a positive response increasing by 0.5 % for each additional year of age. This agrees with the findings of Sandoval et al. (2016) and Godoy et al. (2019), who report that older users tend to place greater value on the stability of basic services.

Similarly, household income increased the probability of a positive response by 4 %, consistent with studies by Zavaleta et al. (2020), Parillo (2022) and Ramírez et al. (2022).

Finally, fee discount (discounts for water service payments) had a negative effect of 21 % on WTP. This may be attributed to the lower or unstable incomes of vulnerable groups who receive such discount. In the study area, this discount is targeted at vulnerable populations such as the elderly, individuals with disabilities, and single mothers. Therefore, it can be inferred that the income levels of these groups tend to be lower or more variable, which may explain the negative effect of this variable.

#### Willingness to pay (WTP) by non-parametric estimation and comparison with the parametric method

The WTP values obtained through the non-parametric method are summarized in Table 7. The estimated function was monotonically decreasing; therefore, the PAVA algorithm was not applied (Wilca & Coila, 2018). Likewise, the non-parametric variance values are also presented.

Estimates obtained through the non-parametric method yield lower means compared to the parametric method. Although the confidence intervals overlap, the non-parametric means do not fall within the parametric interval. This is consistent with the findings of López

dependiente adicional, lo cual contrasta con algunos estudios donde el tamaño familiar presenta efectos positivos (González et al., 2016; Valdivia et al., 2022). La edad influye positivamente en la DAP, ya que la probabilidad de responder afirmativamente incrementa 0.5 % por cada año. Esto coincide con los resultados de Sandoval et al. (2016) y Godoy et al. (2019), quienes señalan que los usuarios mayores valoran más la estabilidad en servicios básicos. Asimismo, el ingreso familiar aumentó la probabilidad de respuesta positiva en 4 %, coherente con estudios como los de Zavaleta et al. (2020), Parillo (2022) y Ramírez et al. (2022).

Finalmente, la variable apoyo (descuentos para el pago del servicio) mostró efecto negativo del 21 % en la DAP, debido posiblemente a los ingresos reducidos en los grupos vulnerables que reciben este apoyo. En la zona de estudio, el apoyo se destina a grupos vulnerables como adultos mayores, personas con capacidad limitada y madres solteras, por lo que, es posible inferir que los ingresos de estos grupos tienden a ser más bajos o variables, situación que explica el efecto negativo de dicha variable.

#### Disposición a pagar (DAP) por estimación no paramétrica y comparación con el método paramétrico

Los valores de la DAP por el método no paramétrico se resumen en el Cuadro 7. La función fue monótonamente decreciente; por lo tanto, no se utilizó el algoritmo PAVA (Wilca & Coila, 2018). De igual manera se agregan los valores de varianza no paramétrica.

Las estimaciones por el método no paramétrico presentan medias más bajas respecto al método paramétrico. Aunque los intervalos se traslapan, las medias no paramétricas no caen dentro del intervalo paramétrico. Esto concuerda con los estudios de López et al. (2017) y Vilca y Coila (2018), donde las estimaciones no paramétricas resultaron más conservadoras, pues tienden a subestimar la

**Table 7. Comparison of parametric and non-parametric estimates of the mean and variance of willingness to pay (WTP) for the improvement of the potable water system.**

**Cuadro 7. Comparación de las estimaciones paramétricas y no paramétricas de la media y varianza de la disposición a pagar (DAP) por la rehabilitación del sistema de agua potable.**

Welfare measures/ Medidas de bienestar	Parametric mean/ Media paramétrica	Non-parametric mean/ Media no paramétrica		Non-parametric mean variance/ Varianza de la media no paramétrica	
		Boman et al. (1999)	Haab and McConnell (2002)	Boman et al. (1999)	Haab and McConnell (2002)
Lower limit/ Límite inferior	31.71	27.941	27.941	1.041	1.677
Intermediate/ Intermedia	37.29	31.250	31.250	0.944	1.430
Upper limit/ Límite superior	45.57	34.559	34.559	0.912	1.348

Source: Compiled by the author.

Fuente: Elaboración propia.

et al. (2017) and Vilca and Coila (2018), where non-parametric estimates were more conservative, tending to underestimate WTP; moreover, lower bounds were observed in the non-parametric method, even though both approaches produced overlapping confidence intervals. Nevertheless, since the means are considered statistically equivalent, either the parametric or non-parametric WTP can be used for economic valuation estimates. Future research is encouraged to compare results using semiparametric methods and to analyze the impact of subsidies on WTP for improvements in water or public services more broadly.

Regarding the financial sustainability of the system, annual expenditures amount to 1931033.44 MXN, while revenues generated from water services total 1500561.00 MXN, excluding municipal subsidies. This indicates an operational deficit that compromises long-term viability (Comité de Agua Potable San Diego Tlalotlacan, A. C., 2018). Although municipal funding has allowed the system to function, relying on these subsidies is not a sustainable long-term solution.

The economic valuation of the project estimated that, with an average WTP of 37.30 MXN per month, over 1200,000 MXN in additional revenue could be generated. These additional funds could potentially finance the first phase of rehabilitation, which includes repairs to a well and a section of the water distribution network, estimated at 1 100 000 MXN. However, due to the high rate of payment delinquency, actual revenue collection would be lower than estimated, threatening the project's financial viability.

## Conclusions

Just over half of the residents in San Diego, Texcoco, Estado de México, expressed willingness to financially contribute toward infrastructure investments aimed

DAP; además, observaron cotas menores en los no paramétricos, aunque ambos métodos coincidieron en los intervalos de confianza. No obstante, dado que las medias se consideran estadísticamente equivalentes, se puede utilizar tanto la DAP paramétrica como no paramétrica en la estimación de la valoración económica. En futuras investigaciones se recomienda contrastar los resultados por métodos semiparamétricos y analizar el impacto de los subsidios en la DAP por mejoras en los servicios hídricos o públicos en general.

En cuanto a la sostenibilidad financiera del sistema, los egresos anuales ascienden a 1931033.44 MXN, mientras que los ingresos generados por el servicio de agua alcanzan 1500561.00 MXN, sin considerar los subsidios municipales, lo que evidencia déficit operativo que compromete la viabilidad (Comité de Agua Potable San Diego Tlalotlacan, A. C., 2018). Aunque los apoyos del ayuntamiento han permitido su funcionamiento, depender de ellos no es una solución sostenible a largo plazo.

La valoración económica del proyecto estimó que, con una DAP media de 37.30 MXN mensuales, se podrían generar más de 1200000 MXN adicionales. Potencialmente, estos ingresos adicionales permitirían el financiamiento de una primera etapa de rehabilitación, que incluye arreglos en un pozo y una sección de la red hidráulica, valorada en 1 100 000 MXN; sin embargo, debido al índice alto de morosidad, la recaudación efectiva sería menor que la estimada, poniendo en riesgo la viabilidad financiera del proyecto.

## Conclusiones

Poco más de la mitad de los usuarios de San Diego, Texcoco, Estado de México, están dispuestos a colaborar monetariamente para invertir en infraestructura que mejore la calidad y cantidad del agua potable. Con la disposición a pagar (DAP) adicional en el

at improving the quality and availability of drinking water. Incorporating this additional willingness to pay (WTP) into the monthly water bill could generate over 1 000 000.00 MXN in additional revenue for the local water committee. Nevertheless, 44 % of users indicated they are unwilling to contribute, which poses a significant challenge to the implementation of proposed system improvements, as the actual amount collected would be lower than estimated. To address this issue, a user awareness campaign is recommended to foster a sense of shared responsibility in management and sustainable use of water resources. Regarding the estimation method, either the parametric or non-parametric approach may be used without affecting the outcome; however, the non-parametric method may serve as a useful complement, offering a more conservative estimate of WTP.

### Conflict of Interest

The authors declare that they have no economic conflicts of interest or known personal relationships that could have influenced the research presented in this article.

### End of English version

### References / Referencias

- Aguilar, S. G., & De la Rosa, M. E. (2018). Valoración económica del agua en la cuenca alta del río Lerma, México. *Revista de Estudios Andaluces*, (35), 101–122. <https://doi.org/10.12795/rea.2018.i35.04>
- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., & Williams T. A. (2008). *Estadística para administración y economía*. CENGAGE learning.
- Avilés, P. G., Huato, S. L., Troyo, D. E., Murillo, A. B., García, H. J., & Beltrán, M. L. (2010). Valoración económica del servicio hidrológico del acuífero de La Paz, B.C.S.: Una valoración contingente del uso de agua municipal. *Frontera Norte*, 22(43), 103–128. <https://doi.org/10.17428/rfn.v22i43.867>
- Bateman, I. J., Carson, R. T., & Hanemann, H. (2002). *Economic valuation with stated references techniques. A manual*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781781009727>
- Briseño, H., & Macedo, E. C. (2021). Disposición a pagar para mejorar la calidad del agua en Zapopan. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(1), 402–434. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-01-10>
- Boman, M., Bostedt, G., & Kriström, B. (1999). Obtaining welfare bounds in discrete-response valuation studies: A nonparametric approach. *Land Economics*, 75(2), 284–294. <https://doi.org/10.2307/3147011>
- Cahui, C. E., Tudela, M. J. W., & Huamán, P. A. (2019). Determinantes socioeconómicos en la estimación de la disponibilidad a pagar del proyecto de agua potable y saneamiento en el centro poblado de Paxa, distrito de Tiquillaca–Puno 2017. *Comunicación: Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo*, 10(1), 81–91. <https://doi.org/10.33595/2226-1478.10.1.332>
- recibo mensual, el comité de agua tendría un flujo de efectivo mayor de 1 000 000.00 MXN; sin embargo, 44 % de los usuarios no están dispuestos a colaborar. Esto representa problemas para las mejoras propuestas en el sistema de agua, dado que el ingreso recaudado sería menor. Al respecto, es necesaria una campaña de concientización a los usuarios para la corresponsabilidad en la gestión y uso del recurso. Con respecto al método, es indiferente utilizar la estimación paramétrica o no paramétrica. En todo caso es posible usar esta última como complemento y considerar un valor más conservador de la DAP.

### Conflicto de intereses

Los autores declaramos que no tenemos conflictos de intereses económicos ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en la investigación presentada en este artículo.

### Fin de la versión en español

- Casani, S. M., Gonzales, C. J., Orihuela, R. C., & Hilario, V. P. (2023). Valoración económica de los servicios ecosistémicos del recurso hídrico de la cuenca del río Cachi, Ayacucho, Perú. *Manglar*, 20(3), 247–256. <http://doi.org/10.57188/manglar.2023.028>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2023). *Estadísticas del agua 2023*. [https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/PDF/EAM2023\\_f.pdf](https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/PDF/EAM2023_f.pdf)
- Comité de Agua Potable San Diego Tlailotlacan, A. C. (2018). *Sistema de agua potable. Reglamento interno 2016-2019*. [https://drive.google.com/file/d/1Izm00FV0zyslloz65\\_TDx1nsDReZQy\\_P/view](https://drive.google.com/file/d/1Izm00FV0zyslloz65_TDx1nsDReZQy_P/view)
- Econometric Software, Inc. (2007). *NLOGIT Version 4.0* [software]. <https://pages.stern.nyu.edu/~wgreene/DiscreteChoice/Software/NLOGIT-Short-Student-Manual.pdf>
- Flores, P. O. (2017). Valoración económica de la demanda del servicio ambiental hídrico del bosque de la microcuenca Madriguera, Siuna-Nicaragua. *Revista Universitaria del Caribe*, 19(2), 76–88. <https://doi.org/10.5377/ruc.v19i2.6473>
- Godoy, P. S. C., Beltrán, D. A. A., León, C. J. G., & Sánchez, M. E. S. (2019). Evaluación socioeconómica de disposición a pagar por aprovechamiento y preservación del recurso hídrico en Cubijes. *Ciencia Digital*, 3(2.6), 406–421. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.6.574>
- González, R., Salvador, F., & Díaz, M. (2016). La disponibilidad a pagar de las familias por mejorar el servicio de agua potable en la ciudad de Aguascalientes. *Gestión y Ambiente*, 19(1), 63–77. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169446378004>
- Haab, T. C., & McConnell, K. E. (2002). *Valuing environmental and natural resources. The econometrics of non-market valuation*. Edward Elgar. <https://doi.org/10.4337/9781843765431>
- Huaraca, A. R., Delgado, L. M. del C., Tapia, T. F., & Agreda, C. H. W. (2021). Sostenibilidad del servicio de agua potable y disposición del cliente a pagarla. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(95), 642–655. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.95.13>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo general de población y vivienda. Resultados definitivos*. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#collapse-Indicadores>
- Jeanty, P. W. (2008). *WTPCIKR: Stata module to estimate Krinsky and Robb confidence intervals for mean and median willingness to pay*. Statistical Software Components, Boston College Department of Economics. <http://ideas.repec.org/c/boc/bocode/s456965.html>
- López, S. M. A., Meza, H. C. A., & Valdivia, A. R. (2017). Analysis of methods to estimate the mean and variance of the willingness to pay parametric and non-parametric case. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(2), 231–242. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.06.041>
- Parillo, M. W. G. (2022). Beneficios económicos por mejorar los servicios de saneamiento rural del distrito de Taraco, región Puno. *Semestre Económico*, 11(1), 44–53. <https://doi.org/10.26867/se.2022.v11i1.127>
- Perez-Verdin, G., Sanjurjo-Rivera, E., Galicia, L., Hernandez-Diaz, J. C., Hernandez-Trejo, V., & Marquez-Linares, M. A. (2016). Economic valuation of ecosystem services in Mexico: Current status and trends. *Ecosystem Services*, 21, 6–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.003>
- Quispe, M. J., Quispe, M. F., Roque, G. C., Yapuchura, S. C., & Catachura, V. A. (2021). Valoración económica de los servicios ambientales de la cuenca del río Coata, Puno-Perú. *Revista Innova Educación*, 3(1), 71–93. <https://doi.org/10.35622/j.rie.2021.01.004.es>
- Ramírez, G. A. G., Castillo, E. I. C., Calderón, V. M. F., Duffus, M. D., & Pirela, H. A. A. (2022). Valoración económica y disponibilidad a pagar por el agua en comunidades rurales. *Económicas CUC*, 44(1), 83–102. <https://doi.org/10.17981/econcuc.44.1.2023.Econ.5>
- Sandoval, R. F., Valdivia, A. R., Cuevas, A. C., Hernández, O. J., Medellín, A. J., & Hernández, A. A. (2016). Valoración económica del agua potable en la delegación Iztapalapa, D. F. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1467–1475. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i6.207>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (09/11/2023). *Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican*. Diario Oficial de la Federación (DOF). [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5708074&fecha=09/11/2023#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5708074&fecha=09/11/2023#gsc.tab=0)
- Silva Rodríguez, J. A. (2015). Referentes conceptuales para la integración de un modelo de gobernanza del agua. *Revista Lebret*, (7), 21–35. <https://doi.org/10.15332/r1.v0i7.1517>
- StataCorp LLC. (2015). *Stata. Data analysis and statistical software* [software]. USA: Author. <https://www.stata.com>
- Suárez, P. K. V., Parra, S. A., & Cely, R. G. E. (2023). Economic valuation of water in the Alto Chicamocha Irrigation District, Boyacá, Colombia. *Apuntes del Cenes*, 42(76), 153–172. <https://doi.org/10.19053/01203053.v42.n76.2023.16018>
- Trujillo, M. J., & Perales, S. A. (2020). Valoración económica del agua de la presa Solís para uso agrícola. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(4), 339–369. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-04-11>
- Tudela, M. J. W. (2008). Modelos de elección discreta en la valoración económica de áreas naturales protegidas. *Revista de Investigaciones* 4(2), 206–215. <https://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/57/105>
- Tudela, M. J. W. (2017). Willingness to pay for improvements in wastewater treatment: application of the contingent valuation method in Puno, Perú. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(3), 341–352. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.11.059>
- Valdivia, A. R., Delgadillo, V. M. A., Sangerman, J. D. M., Hernández, O. J., Sandoval, R. F., & Garay, J. Á. S. (2022). Valoración económica de la calidad del agua potable en León, Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(3), 527–538. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.3168>
- Valdivia, A. R., García, A. E., López, S. M. A., Hernández, O. J., & Rojano, A. A. (2011). Valoración económica por la rehabilitación del río Axtla, S. L. P. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(3), 333–342. <http://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.07.045>
- Vaughan, W. J., & Rodríguez, D. J. (2000). *A note on obtaining welfare bounds in referendum contingent valuation studies*. <http://doi.org/10.18235/0008802>
- Vilca, C. G. L., & Coila, M. M. (2018). Estimación paramétrica y no paramétrica de la disponibilidad a pagar por los beneficios recreativos de un proyecto de recuperación y conservación en el complejo club de pueblo Salcedo, Puno, Perú - 2012. *Semestre Económico*, 7(1), 50–83. <https://doi.org/10.26867/se.2018.v07i1.73>
- Zavaleta, Z. E. H., León, T. C. A., Leiva, C. F. A., Gil, R. L. A., Rodríguez, S. A. D., & Bardales, V. C. B. (2020). Valoración económica del servicio ambiental hídrico del Santuario Nacional de Calipuy. Santiago de Chuco, La Libertad - Perú. *Arnaldoa*, 27(1), 335–349. <https://doi.org/10.22497/1507>