

**PLANIFICACIÓN OPERATIVA EN REDES DE AGUA POTABLE PARA LA  
CIUDAD DE JIPIJAPA**

**OPERATIONAL PLANNING IN POTABLE WATER NETWORKS FOR THE  
CITY OF JIPIJAPA**

**AUTORES**

**Ing. Carlos Iván Macías Vélez.**<sup>1</sup>  
**Ing. Erick Josué Guadamud Soledispa.**<sup>2</sup>  
**Ing. Víctor Alejandro Lino Calle MSc.**<sup>3</sup>  
**Ing. Daniel David, Carvajal Rivadeneira MSc.**<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Investigador Independiente.  
[macias-carlos2337@unesum.edu.ec](mailto:macias-carlos2337@unesum.edu.ec)

<sup>2</sup> INGELECME S.A.  
[guadamud-erick6528@unesum.edu.ec](mailto:guadamud-erick6528@unesum.edu.ec)

<sup>3</sup> Unidad Educativa Ciudad de Jipijapa.  
[victor.lino@unesum.edu.ec](mailto:victor.lino@unesum.edu.ec)

<sup>4</sup> Doctorando en Dirección de Proyectos, Universidad de Investigación e Innovación de México.  
[daniel.carvajal@unesum.edu.ec](mailto:daniel.carvajal@unesum.edu.ec)

**Recibido:**18-01-2024

**Aprobado:**04-03-2024

**Publicado:**28-03-2024

## RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la falta de capacidad para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua dulce para los habitantes de la zona rural del cantón Jipijapa en la provincia de Manabí. La población enfrenta problemas ambientales como la deforestación, la escasez de fuentes de agua dulce y el aumento no planificado de la población. Debido a esta problemática, surge la necesidad de implementar modelos de optimización adaptados a las características locales del cantón Jipijapa para tratar de manera responsable y eficiente los desafíos que presenta la gestión del agua potable. Considerando la creciente demanda, la variabilidad climática, la asignación eficiente de recursos, la resiliencia ante eventos climáticos extremos y la mejora de la calidad del suministro; el objetivo de la investigación fue diseñar un modelo de planificación operativa óptima de la red de agua potable en Jipijapa. Los métodos utilizados en la investigación fueron el método geométrico, el método aritmético, el método logarítmico y caudales de diseño; se trabajó con una proyección poblacional a 20 años: desde el año 2023 hasta el año 2043. Los resultados obtenidos indican que los datos tomados pueden ser utilizados para realizar un análisis preliminar de los cálculos de caudales, ya que estos cumplen con el 95 % de factibilidad respecto a la tendencia normal y por ultimo los Gráficos de Radar e Histograma muestran que la calidad de  $Q_{\text{diseño}}$ ,  $Q_{\text{distribución}}$  y  $Q_{\text{máxhorario}}$ , son efectivos debido a que existe dispersión en los resultados proyectados.

**Palabras Claves:** Agua potable, eficiencia hídrica, planificación operativa, redes de agua potable.

## ABSTRACT

This study evaluated the lack of capacity to meet the freshwater supply needs of the inhabitants of the rural area of Jipijapa canton in the province of Manabí. The population faces environmental problems such as deforestation, scarcity of freshwater sources, and unplanned population growth. Due to these problems, the need arises to implement optimization models adapted to the local characteristics of the Jipijapa canton to deal responsibly and efficiently with the challenges presented by drinking water management. Considering the growing demand, climate variability, efficient resource allocation, resilience to extreme weather events, and improvement of supply quality, the objective of the research was to design an optimal operational planning model for the drinking water network in Jipijapa. The methods used in the research were the geometric method, the arithmetic method, the logarithmic method and design flow rates; we worked with a 20-year population projection: from 2023 to 2043. The results obtained indicate that the data taken can be used to perform a preliminary analysis of the flow calculations, since they meet 95% of feasibility with respect to the normal trend and finally the Radar and Histogram Graphs show that the quality of  $Q_{\text{design}}$ ,  $Q_{\text{distribution}}$  and  $Q_{\text{maxhourly}}$  are effective due to the fact that there is dispersion in the projected results.

**Keywords:** Drinking water, water efficiency, operational planning, drinking water networks.

## INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, las civilizaciones optaban por establecer sus comunidades cerca de las orillas de los ríos para asegurar el acceso al suministro de agua. Sin embargo, en la actualidad, esta preocupación ha disminuido gracias al progreso tecnológico y la implementación de nuevas técnicas que facilitan el transporte y almacenamiento de este vital recurso. En el presente, el uso del agua se ha diversificado considerablemente, abarcando aplicaciones domésticas, comerciales, públicas e industriales. Este amplio espectro de usos ha contribuido al aumento constante de la demanda, generando la necesidad para las empresas prestadoras del servicio de agua de satisfacer las exigencias de los usuarios en términos de cantidad, presión y estándares de calidad (Sánchez & Mendoza, 2021).

El derecho al acceso al agua potable es esencial para el desarrollo humano y sus diversas actividades. Aunque el acceso al agua potable se considera un derecho humano universal, aproximadamente 2.000 millones de personas en todo el mundo carecen de servicios de agua potable en el año 2022. El Informe de Control de Proyectos Mundiales (PCM) de 2023 sobre Agua, Saneamiento e Higiene (WASH) en los hogares resalta las disparidades existentes en los niveles de servicio dentro de los países. No obstante, la influencia del suministro de agua potable en la salud, el bienestar y la productividad varía significativamente entre diferentes subgrupos de población (Unicef, 2023).

Los habitantes de la zona sur de la provincia de Manabí, específicamente quienes viven en la ruralidad del cantón Jipijapa, enfrentan desafíos medioambientales, escasez de agua y un crecimiento poblacional no planificado. A pesar de que un alto porcentaje de personas ha adquirido o cuentan con algún sistema de abastecimiento de agua, persiste una limitación en la capacidad para satisfacer todas sus necesidades.

La importancia de implementar una sólida Planificación Operativa se hace evidente al reconocer que es esencial para superar los desafíos operativos y mejorar la eficiencia en la gestión del agua en la ciudad. Legay et al. (2011) indica que una planificación operativa en redes de agua potable y su tratamiento en la distribución es esencial para garantizar un suministro eficiente y sostenible de agua a las comunidades.

Por su parte, Gutarra (2016) aporta a la comprensión de la Planificación Operativa al resaltar la importancia de la programación, el presupuesto, así como las normas y reglamentos. De la misma manera, este concepto se refiere a “una interrelación entre lo programado y proyectado presupuestalmente basado en objetivos y metas” (Segura, 2023, p.12).

Estos elementos, deben trabajar de manera armoniosa para garantizar la coherencia y la eficacia en la gestión del agua. La programación proporciona un marco temporal, el presupuesto asigna recursos adecuados, mientras que las normas y reglamentos establecen las pautas que orientan las acciones dentro de un contexto normativo claro.

La implementación de la Planificación Operativa se apoya firmemente en las Redes de Agua Potable, elementos esenciales diseñados meticulosamente para captar, tratar y distribuir eficientemente agua potable en una comunidad. Según Delgado (2021), a medida que algunas áreas experimentan la necesidad de recurrir a fuentes alternas de abastecimiento de agua, estas fuentes a menudo se encuentran en lugares distintos, generando así la necesidad de interconectar las líneas de conducción de cada fuente.

Esta interconexión implica la creación de una red de conducción, que también contribuye a fortalecer la resiliencia del sistema, asegurando un flujo constante de agua potable incluso en situaciones donde una fuente pueda experimentar limitaciones. En consecuencia, las Redes de Agua Potable optimizan la distribución del recurso vital, por lo cual se convierten en un componente fundamental para garantizar la disponibilidad continua y equitativa de agua en la comunidad.

Otro elemento esencial en este estudio es la Eficiencia Hídrica. Más allá de la infraestructura, la optimización en el uso del agua se convierte en una parte integral de la Planificación Operativa. “El término eficiencia es comúnmente usado por los ingenieros para expresar la razón de la potencia de salida a la potencia de entrada de un mecanismo” (Delgado, 2021, p. 50).

El principio subyacente en el concepto de eficiencia hídrica se focaliza en minimizar el desperdicio de agua, sin necesariamente imponer restricciones al usuario en cuanto a su consumo. En lugar de limitar el uso por parte del consumidor, se busca activamente reducir las pérdidas y derroches de agua, priorizando una gestión más inteligente y responsable del recurso hídrico. Este enfoque no solo promueve la conservación del agua, sino que también permite un uso más efectivo y sostenible sin afectar negativamente las necesidades legítimas de los usuarios.

El concepto de eficiencia hídrica se basa en la disminución del desperdicio de agua, sin imponer restricciones en el uso por parte de los consumidores (Bermudez, 2018). Este enfoque promueve la conservación del agua, reconoce la importancia de mantener la calidad de vida de las personas y se alinea con la idea de optimización en la gestión del recurso.

Los modelos de optimización desempeñan un papel fundamental al ofrecer herramientas avanzadas para la toma de decisiones estratégicas mejorando la predicción de fallas en las tuberías (Forero et al., 2023). Estos modelos emplean algoritmos matemáticos y técnicas de optimización para abordar desafíos complejos (Macgill et al., 2001), de la cual se tienen la gestión de la demanda hídrica, la distribución eficiente de recursos y la minimización de pérdidas (Lou & Han, 2007). La aplicación de modelos de optimización permite mejorar la eficiencia operativa de las redes de agua, reducir costos y minimizar los impactos ambientales asociados con el suministro y tratamiento del agua (Ragade et al., 2018). Este enfoque innovador no solo contribuye a la optimización de los recursos, sino que también promueve la resiliencia de las infraestructuras hídricas frente a los desafíos emergentes (Yan et al., 2017).

El cantón Jipijapa en la provincia de Manabí, Ecuador, enfrenta desafíos significativos en la gestión de su red de agua potable, lo que resalta la necesidad apremiante de modelos de optimización para la planificación operativa. La creciente demanda de agua, combinada con la variabilidad en los patrones climáticos, ha generado presiones y caudales no óptimos sobre la infraestructura hídrica existente (Bates et al., 2008).

Por otra parte, la falta de un enfoque sistemático para la asignación eficiente de recursos y la respuesta a fluctuaciones en la demanda puede resultar en desperdicio de agua, fallas hídricas en metros columna de agua, velocidades ineficientes, balance hídrico ineficientes, lo que aumenta los costos operativos y afectar la calidad del suministro (Torres et al., 2009).

Además, eventos climáticos extremos, como sequías o inundaciones, pueden agravar estos desafíos. Por lo cual un planteamiento en la importancia crítica de desarrollar estrategias de planificación operativa específicas para la realidad de Jipijapa. La implementación de modelos de optimización adaptados a las características locales puede brindar soluciones efectivas y sostenibles, mejorando la resiliencia de la comunidad ante los desafíos asociados con la gestión del agua potable.

En este proyecto se busca, implementar los modelos de optimización en herramientas esenciales para la planificación operativa con softwares como Epanet, Watercad, ArcGIS y Looker Studios, respaldando la gestión sostenible y efectiva de las redes de agua potable en el Cantón de Jipijapa.

En esta investigación se planteó la siguiente formulación del problema ¿Cómo pueden implementarse modelos de optimización adaptados a las características locales de Jipijapa?

En respuesta a este planteamiento se evidencia el siguiente objetivo diseñar un modelo de planificación operativa óptimo de la red de agua potable en Jipijapa, con el fin de fortalecer la gestión del suministro hídrico, reducir costos operativos y mejorar la resiliencia ante desafíos climáticos y de demanda hídrica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Proyección poblacional.

La proyección es una estimación de la población futura, la cual se puede calcular por varios métodos basada en tendencias actuales y pasadas (Zhang et al., 2023), la normativa ecuatoriana específica que esta tiene que estar ligada a ajustes de mínimo 3 métodos, de los cuales se debe considerar la regresión lineal del comportamiento poblacional (INEN, 1996; INEN, 1997).

#### 1) Método Aritmético

El método lineal o aritmético es la variación de una cantidad poblacional, en un número constante en el transcurso del tiempo. Si la población aumenta se lo conoce como crecimiento poblacional y si disminuye como decrecimiento poblacional (Bartlett, 1993).

$$r = \frac{P_n - P_o}{\Delta_T}$$

$$P_f = P_o + r * \Delta_T \quad (1)$$

## 2) Método Geométrico

La proyección del crecimiento se realiza considerando que no hay cambios en la tasa de crecimiento a lo largo del tiempo.

$$r = \left(\frac{P_n}{P_o}\right)^{\frac{1}{\Delta_T}} - 1$$

$$P_f = P_o * (1 + r)^{\Delta_T} \quad (2)$$

## 3) Método logarítmico

Dentro del contexto del crecimiento de la población, el método logarítmico representa una herramienta para proporcionar el tamaño de las poblaciones en crecimiento y analizar la naturaleza del crecimiento. Este enfoque asume que la población aumenta de manera proporcional en cada período de tiempo.

$$r = \frac{L_n(P_n) - L_n(P_o)}{\Delta_T}$$

$$P_f = P_o * e^{r * \Delta_T} \quad (3)$$

Donde:

*r*: tasa de crecimiento poblacional

*n*: año de estudio

*P<sub>n</sub>*: población del año de estudio

*P<sub>o</sub>*: población inicial

$\Delta_T$ : Diferencial de tiempos de estudio

*P<sub>f</sub>*: Población futura

## Caudales de Diseño.

Caudal medio diario: Caudal consumido en promedio por la población al día, incluye las perdidas por fugas.

$$Q_{md} = \frac{DF * P_n}{86400} + Q_{mf} \quad (4)$$

Caudal máximo diario: Caudal consumido por la población en un día de máximo consumo en un año.

$$Q_{maxd} = K_d * Q_{md} \quad (5)$$

Caudal máximo horario: Caudal consumido por la población en la hora de máximo uso en un día de un año.

$$Q_{maxh} = K_h * Q_{md} \quad (6)$$

Caudal de diseño: Caudal con el cual se diseña la red de distribución de agua potable.

$$Q_d = Q_{maxh} + Q_i \quad (7)$$

Dotación de diseño: Cantidad promedio de agua consumida diariamente por los habitantes de una zona determinada a un determinado periodo de tiempo.

$$DF = DA + DA * \%A + F \quad (8)$$

Caudal de incendio: Dotación de agua contra incendios que debe tener la ciudad respecto a la normativa.

$$Q_i = \#incendios\ simultaneos * D_{incendio} \quad (9)$$

Donde:

$f$ : Fugas 10 – 20%.

$DA$ : Dotación media actual.

$\%A$ : Porcentaje de aumento futuro de la dotación (0 - 2%).

$Kd$ : Coeficiente de variación del consumo máximo diario (1,3 - 1,5).

$Kh$ : Coeficiente de variación del consumo máximo horario (2 - 2,3).

$Q_i$ : Caudal de incendios (20 l/s)

## RESULTADOS

### Proyección Poblacional

Para la población de diseño de usaron datos de censos en Ecuador de 3 años, estos fue 2001, 2010 y 2022, del cual la información fue recopilada de Instituto Nacional de Estadística y Censos, en este estudio se toma como referencia un diseño de 20-25 años.

**Tabla 1**  
*Censos INEC.*

**Censos INEC**

| Año  | Población |
|------|-----------|
| 2001 | 65796     |
| 2010 | 71083     |
| 2022 | 78117     |

**Nota:** Representa la cantidad de habitantes en la Ciudad de Jipijapa en el año 2001, 2010 y 2022. Tomado de *INEC 2023*.

El análisis de la información proporciono 3 tendencias de información para los 20 años de diseño, en la cual se busca una población que se asemeje al crecimiento de Jipijapa.

**Tabla 2**  
*Resultados de Población futura.*

| Método Lineal<br>$r = 586.440$                                      | Método Geométrico<br>$r = 0.0081$                                   | Método Logarítmico<br>$r = 0.008$                                |
|---|---|--|
| $P_f = 78117 + 586.440$ $* (2023 - 2022)$ $P_f = 78703 \text{ Hab}$ | $P_f = 2022 * (1 + 0.0081)^{(2023-2022)}$ $P_f = 78746 \text{ Hab}$ | $P_f = 2022 * e^{0.008 * (2023-2022)}$ $P_f = 78848 \text{ Hab}$ |

**Nota:** Representa los resultados del método lineal, geométrico y logarítmico.

**Tabla 3**  
*Proyección de Población futura.*

| Año  | Lineal<br>[Hab] | Geométrico<br>[Hab] | Logarítmico<br>[Hab] |
|------|-----------------|---------------------|----------------------|
| 2023 | 78703           | 78746               | 78848                |
| 2025 | 79876           | 80019               | 80155                |

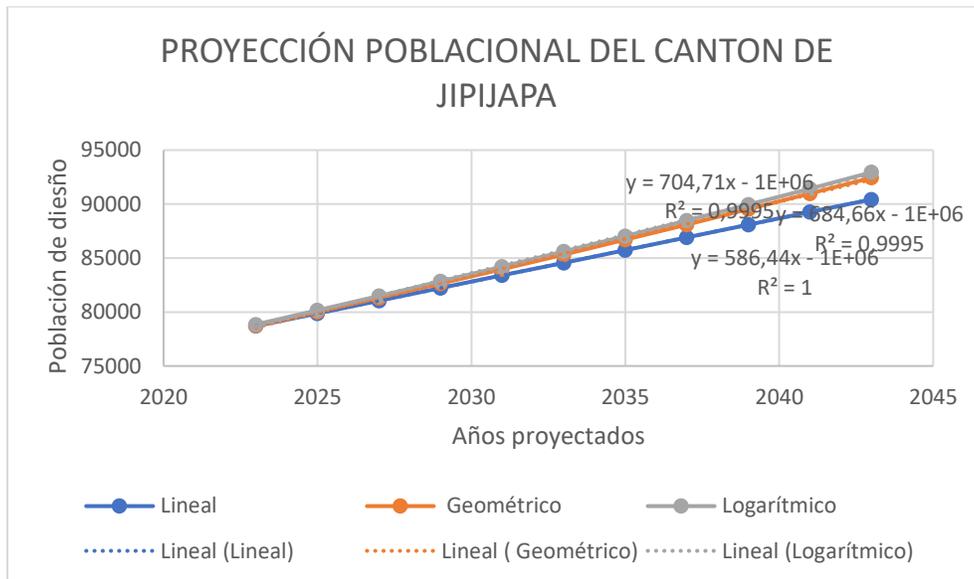
|      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| 2027 | 81049 | 81313 | 81485 |
| 2029 | 82222 | 82627 | 82836 |
| 2031 | 83395 | 83963 | 84210 |
| 2033 | 84568 | 85320 | 85607 |
| 2035 | 85741 | 86700 | 87027 |
| 2037 | 86914 | 88101 | 88471 |
| 2039 | 88086 | 89525 | 89938 |
| 2041 | 89259 | 90973 | 91430 |
| 2043 | 90432 | 92443 | 92946 |

**Nota:** Representa la proyección futura de los habitantes en Jipijapa. **Fuente:** Base de datos. Elaboración propia.

El análisis de la proyección poblacional es respecto a tendencias de regresiones lineales de los 3 métodos estadísticos, del cual el crecimiento más constante es el crecimiento Geométrico, por lo cual para el análisis de las tendencias de causales se utilizará la proyección Geométrica para análisis la sensibilidad de cada de estudio.

### Figura 1

Gráfico de Proyección Poblacional de Jipijapa. Jipijapa, 2024.



**Nota.** Se muestra la proyección de los métodos aplicados con su respectiva regresión lineal. **Fuente:** Base de datos. Elaboración propia.

### Cálculos de Caudales.

Se considero la normativa INEN 1996, para el cálculo de consumo poblacional, % de perdida, valores de crecimiento  $K_a$ ,  $K_h$ , Caudal de incendio y caudal de captación esto debido a que el balance de masa sigue en proceso de desarrollo.

**Tabla 4**  
*Dotación total.*

|                           | <b>Dotación Total</b> | <b>[L/hab*día]</b> |
|---------------------------|-----------------------|--------------------|
| <b>Consumo domestico</b>  | 138                   |                    |
| <b>Consumo público</b>    | 25.5                  |                    |
| <b>Consumo Industrial</b> | 0.2                   |                    |
| <b>Consumo Comercial</b>  | 2.48                  |                    |
| <b>Pérdidas</b>           | 15%                   |                    |
| <b>Dotación Total</b>     | <b>195.51</b>         |                    |
|                           |                       | <b>[L/hab*día]</b> |

*Nota:* Cálculo del consumo proyectado en Jipijapa. Tomado de (INEN, 1997).

**Tabla 5**  
*Caudales de diseño.*

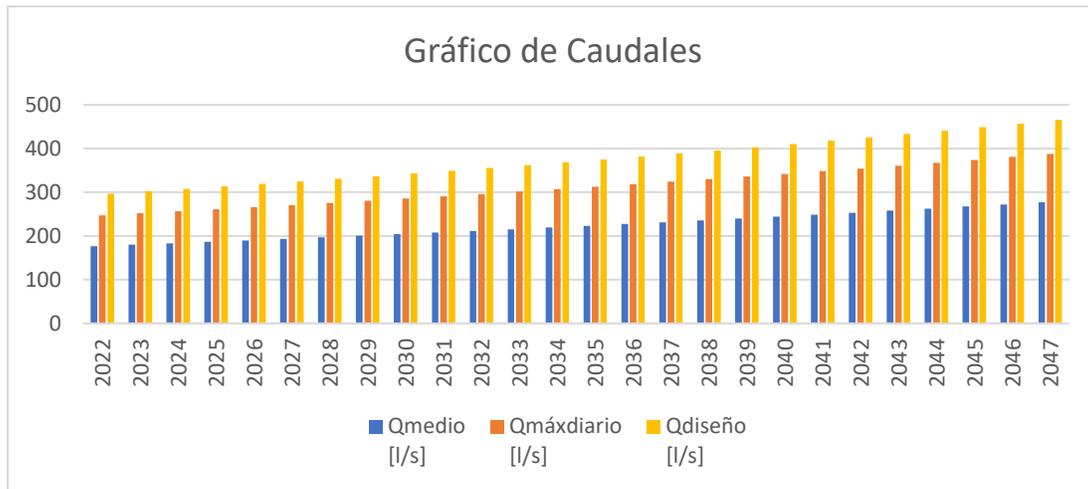
| <b>Año</b> | <b>Población Seleccionada [Habitantes]</b> | <b>Dotación [L/hab*día]</b> | <b>Qmedio [l/s]</b> | <b>Qmáxdiario [l/s]</b> | <b>Qmáxhor [l/s]</b> | <b>Qdis [l/s]</b> | <b>Qdistr [l/s]</b> |
|------------|--|-----------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|
| 2022       | 78117                                      | 195.51                      | 176.76              | 247.47                  | 353.53               | 296.96            | 373.53              |
| 2023       | 78747                                      | 197.46                      | 179.97              | 251.96                  | 359.94               | 302.35            | 379.94              |
| 2024       | 79381                                      | 199.44                      | 183.23              | 256.53                  | 366.47               | 307.83            | 386.47              |
| 2025       | 80020                                      | 201.43                      | 186.56              | 261.18                  | 373.11               | 313.41            | 393.11              |
| 2026       | 80664                                      | 203.44                      | 189.94              | 265.91                  | 379.88               | 319.10            | 399.88              |
| 2027       | 81314                                      | 205.48                      | 193.38              | 270.74                  | 386.77               | 324.88            | 406.77              |
| 2028       | 81968                                      | 207.53                      | 196.89              | 275.64                  | 393.78               | 330.77            | 413.78              |
| 2029       | 82628                                      | 209.61                      | 200.46              | 280.64                  | 400.92               | 336.77            | 420.92              |
| 2030       | 83293                                      | 211.70                      | 204.09              | 285.73                  | 408.18               | 342.87            | 428.18              |
| 2031       | 83964                                      | 213.82                      | 207.79              | 290.91                  | 415.59               | 349.09            | 435.59              |
| 2032       | 84640                                      | 215.96                      | 211.56              | 296.19                  | 423.12               | 355.42            | 443.12              |
| 2033       | 85321                                      | 218.12                      | 215.40              | 301.55                  | 430.79               | 361.86            | 450.79              |
| 2034       | 86008                                      | 220.30                      | 219.30              | 307.02                  | 438.60               | 368.43            | 458.60              |
| 2035       | 86701                                      | 222.50                      | 223.28              | 312.59                  | 446.56               | 375.11            | 466.56              |
| 2036       | 87399                                      | 224.73                      | 227.33              | 318.26                  | 454.65               | 381.91            | 474.65              |
| 2037       | 88102                                      | 226.98                      | 231.45              | 324.03                  | 462.89               | 388.83            | 482.89              |
| 2038       | 88811                                      | 229.25                      | 235.64              | 329.90                  | 471.29               | 395.88            | 491.29              |
| 2039       | 89526                                      | 231.54                      | 239.92              | 335.88                  | 479.83               | 403.06            | 499.83              |
| 2040       | 90247                                      | 233.85                      | 244.27              | 341.97                  | 488.53               | 410.37            | 508.53              |
| 2041       | 90974                                      | 236.19                      | 248.70              | 348.17                  | 497.39               | 417.81            | 517.39              |
| 2042       | 91706                                      | 238.55                      | 253.20              | 354.49                  | 506.41               | 425.38            | 526.41              |
| 2043       | 92444                                      | 240.94                      | 257.79              | 360.91                  | 515.59               | 433.09            | 535.59              |
| 2044       | 93189                                      | 243.35                      | 262.47              | 367.46                  | 524.94               | 440.95            | 544.94              |
| 2045       | 93939                                      | 245.78                      | 267.23              | 374.12                  | 534.46               | 448.94            | 554.46              |
| 2046       | 94695                                      | 248.24                      | 272.07              | 380.90                  | 544.15               | 457.08            | 564.15              |

2047 95458 250.72 277.01 387.81 554.02 465.37 574.02

**Nota:** Cálculos de Caudales de diseño para el proyecto. **Fuente:** Base de datos. Elaboración propia.

**Figura 2**

*Gráfica de Caudales: medio, máximo diario y de diseño (l/s). Jipijapa, 2024*



**Nota.** Se muestran los caudales medio, máximo diario y de diseño. **Fuente:** Base de datos. Elaboración propia

**Descriptivas:** Para el análisis de factibilidad es necesario tener las variables descriptivas, las cuales deben cumplir un porcentaje de cumplimiento >95%.

**Tabla 6**

*Análisis descriptivo.*

|                      | N  | Media  | Mediana | Moda   | DE    | Mínimo | Máximo |
|----------------------|----|--------|---------|--------|-------|--------|--------|
| Dotación (L/hab*día) | 26 | 222.02 | 221.40  | 195.51 | 16.89 | 195.51 | 250.72 |
| Qmedio (l/s)         | 26 | 223.30 | 221.29  | 176.76 | 30.63 | 176.76 | 277.01 |
| Qmáxdiaro (l/s)      | 26 | 312.61 | 309.81  | 247.47 | 42.89 | 247.47 | 387.81 |
| Qmáxhorario (l/s)    | 26 | 446.59 | 442.58  | 353.53 | 61.27 | 353.53 | 554.02 |
| Qdiseño (l/s)        | 26 | 375.14 | 371.77  | 296.96 | 51.46 | 296.96 | 465.37 |
| Qdistribución (l/s)  | 26 | 466.59 | 462.58  | 373.53 | 61.27 | 373.53 | 574.02 |

Población 26 86509.85 86354.50 78117.00 5303.71 78117.00 95458.00

<sup>a</sup> Existe más de una moda, solo se reporta la primera

**Nota:** Análisis estadístico descriptivo. **Fuente:** Base de datos. Elaboración propia.

**Análisis de Factibilidad:** Para este Análisis se utiliza la prueba de Alfa de Cronbach, la cual es parecido a un análisis de factibilidad De Gaus, donde para aceptar el comportamiento este debe ser mayor al 0,95.

**Tabla 7**

*Análisis de Factibilidad.*

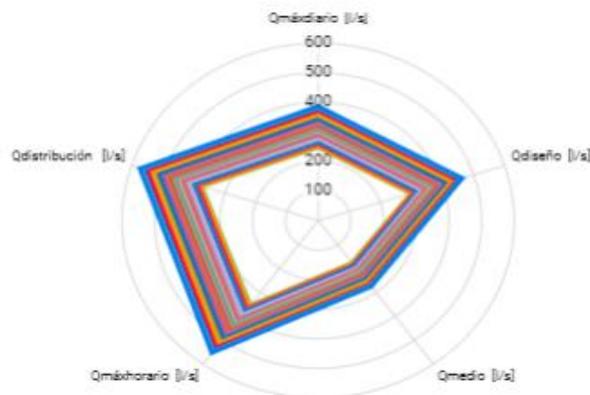
|                             | Media | DE   | Alfa de Cronbach |
|-----------------------------|-------|------|------------------|
| <b>Dotación [L/hab*día]</b> | 222   | 16.9 | 0.986            |
| <b>Qmáxdiario [l/s]</b>     | 313   | 42.9 | 0.960            |
| <b>Qdiseño [l/s]</b>        | 375   | 51.5 | 0.959            |
| <b>Qdistribución [l/s]</b>  | 467   | 61.3 | 0.963            |
| <b>Qmáxhorario [l/s]</b>    | 447   | 61.3 | 0.963            |
| <b>Qmedio [l/s]</b>         | 223   | 30.6 | 0.969            |

**Nota:** Análisis de Factibilidad, la cual cumple el criterio de diseño. **Fuente:** Base de datos. Elaboración propia.

**Diagrama de Radar:** El diagrama demuestra el comportamiento de los Qmed, Qmaxdiario, Qdiseño, Qdistribción y Qmaxhorario, los cuales son necesario para ver el escenario más favorable para el diseño de distribución de AAPP, Reservorios y análisis de la distribución que debe llegar a la PTAP.

**Figura 3**

*Diagrama de Radar. Jipijapa, 2024*

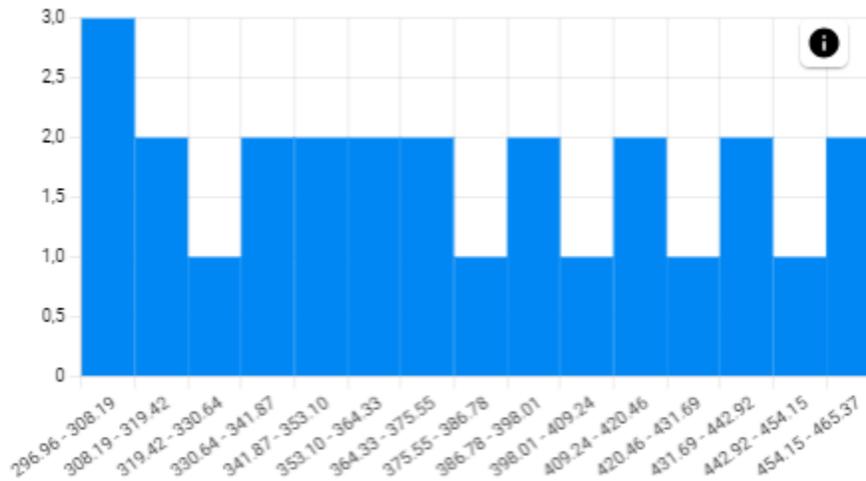


**Nota.** Diagrama de Radar de caudales para ver la variabilidad de la proyección. **Fuente:** Base de datos. Elaboración propia.

**Histograma de Caudal de diseño:** el histograma respecto al caudal de diseño para ver donde existe la mayor variación de Caudales al borde de los años.

**Figura 4**

*Histograma Qdiseño. Jipijapa, 2024*

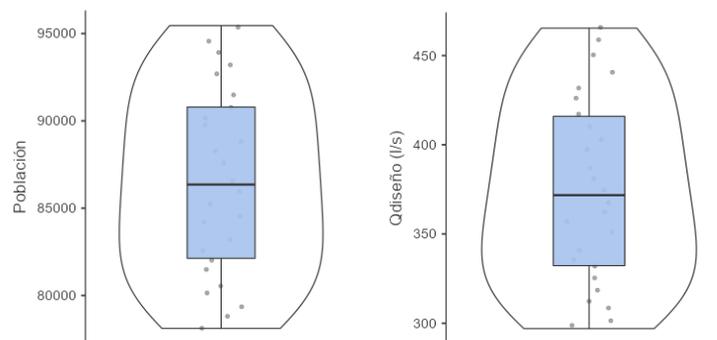


**Nota.** Diagrama Histograma de los Qdiseño tomando una variabilidad de 15. **Fuente:** Base de datos. Elaboración propia.

**Caja violín:** Para resaltar la tendencia del comportamiento se realizó dos cajas violín que es la proyección poblacional y el Qdiseño.

**Figura 5**

*Gráfica de violín, cajas y bigotes de Población Seleccionada y Qdiseño. Jipijapa, 2024*



**Fuente:** Base de datos. Elaboración Propia.

## DISCUSIÓN

Debido a que la población de Jipijapa no tiene un crecimiento exponencial, los comportamientos de los modelos de proyección futura salen similares, a pesar de eso se tomó como recomendación el análisis del método Geométrico, debido a que se encuentra en la variación mínima y máxima de los otros dos métodos, además de utilizar la normativa como recomendación, resultados similares se evidencian en la investigación de Pacheco & Guadamud (2022). El cálculo de los caudales de diseño es respecto a la dotación proyectada que se encuentra en la normativa INEN 1997, debido a que el balance de masa de población aún no está culminado, se tiene que tomar una proyección de cálculo.

A pesar que para la población futura se recomiendan 20 años de diseño (Martínez, 2019), se aumentó una holgura de 25 años, para modelar datos que tenga variabilidad de muestras en la dispersión del radar. La factibilidad de la muestra indica que los datos tomados pueden ser utilizados para realizar un análisis preliminar de los cálculos de caudales, ya que estos cumplen con el 95 % de factibilidad respecto a la tendencia normal. Los Gráficos de Radar e Histograma muestran que la calidad de Qdiseño, Qdistribución y Qmáxhorario, son efectivos debido a que existe dispersión en los resultados proyectados.

## CONCLUSIONES

La implementación de modelos de optimización adaptados a las características locales de Jipijapa se erige como un desafío para potenciar la gestión del suministro hídrico en esta comunidad. En este contexto, la aplicación de softwares avanzados como Epanet, Watercad, ArcGIS y Looker Studios se revela como una piedra angular, proporcionando herramientas fundamentales para abordar las problemáticas locales de manera integral. La proyección poblacional, respaldada por métodos aritméticos, geométricos y logarítmicos, establece una base robusta para anticipar las demandas futuras, mientras que los cálculos de caudales de diseño, que consideran consumos promedio, pérdidas, variaciones horarias y situaciones de incendio, contribuyen a dimensionar la infraestructura de manera eficiente. La integración de estos resultados con modelos de optimización específicos para la ciudad de Jipijapa promete una planificación operativa efectiva, reduciendo costos operativos y fortaleciendo la resiliencia de la red de agua potable ante desafíos climáticos y de demanda. A pesar de que la información no está completa, los cálculos de caudales pueden ser hábilmente empleados en softwares como Epanet y ArcGIS para medir velocidad, presión y metros de columna de agua, mientras que los datos modelados en Looker Studios y Jamovi ofrecen análisis estadísticos que respaldan la eficiencia y practicidad de los resultados. Todo el proceso se rige por la normativa ecuatoriana, garantizando la integridad y coherencia de los datos en el balance de masa hídrica.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Bartlett, A. A. (1993). The arithmetic of growth: Methods of calculation. *Population and Environment*, 14(4), 359–387. <https://doi.org/10.1007/BF01270916>
- Bates, B., Kundzewicz, Z., Wu, S., & Palutikof, J. (2008). *El cambio climático y el agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Secretaría del IPCC, Ginebra.

- Bermudez, D. (2018). *Eficiencia Hídrica en Edificios no Residenciales de Tipo Colectivos ( Hoteles )*. Instituto Politécnico de Leiria.
- Delgado, J. (2021). *Eficiencia Hídrica en la Distribución de la Red de Agua Potable a través de Modulación de presiones en un Sistema Automatizado*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Forero, E., Martínez, E., Sánchez, M., Cardus, J., Cucchiatti, F., Baque, F., & Sarrias, M. (2023). Models and explanatory variables in modelling failure for drinking water pipes to support asset management: a mixed literature review. *Applied Water Science*, 13(11), 1–41. <https://doi.org/10.1007/s13201-023-02013-1>
- Gutarra, A. R. (2016). *Diagnóstico De La Gestión De Facturación Por El Servicio De Agua Potable Y Alcantarillado De Sedapal, Periodo 2015* [Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. <http://repositorio.unfels.edu.pe/handle/UNTELS/137>
- INEN. (1996). *Emisiones de Vehículos automotores y motores de vehículos usados* (Primera Ed). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 2. <http://www.bvsde.paho.org/cgi-bin/wxis.exe/iah/?IsisScript=iah/iah.xis&base=bvsde.others&lang=e&nextAction=lnk&exprSearch=BVSDE.00013745&indexSearch=ID>
- INEN. (1997). Código Ecuatoriano de la Construcción. Diseño de Instalaciones Sanitarias. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 50. [https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/normas\\_disec3b1o\\_cpe\\_inen\\_5\\_parte\\_9-2\\_1997-menos-de-1000-hab.pdf](https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/normas_disec3b1o_cpe_inen_5_parte_9-2_1997-menos-de-1000-hab.pdf)
- Legay, C., Rodríguez, M. J., Miranda, L., Sérodes, J. B., & Levallois, P. (2011). Multi-level modelling of chlorination by-product presence in drinking water distribution systems for human exposure assessment purposes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1–4), 507–524. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1709-8>
- Lou, J. C., & Han, J. Y. (2007). Assessing water quality of drinking water distribution system in the South Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 134(1–3), 343–354. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9625-2>
- Macgill, S. M., Fewtrell, L., & Kay, D. (2001). Uncertainty in Models for the Assessment of Risk in Drinking Water. *Risk Management*, 3(4), 19–33. <https://doi.org/10.1057/palgrave.rm.8240099>
- Martínez, R. (2019). *Evaluación y mejoramiento del sistema de agua potable para optimizar la condición sanitaria de la población en la comunidad de Rosas Pata, Distrito de Acocro, Provincia Huamanga, Región Ayacucho -2023* [Universidad Católica Los Ángeles Chimbote]. [http://repositorio.upci.edu.pe/bitstream/handle/upci/69/T-LAZARO\\_RENGIFO\\_JESSICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upci.edu.pe/bitstream/handle/upci/69/T-LAZARO_RENGIFO_JESSICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pacheco, A., & Guadamud, E. (2022). *Diseño de la red de distribución de agua potable de la comunidad de Manglaralto* [Escuela Superior Politécnica del Litoral].

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57823>

- Ragade, G. S., Dhupal, R., & Gawali, B. W. (2018). Analysis and modelling of drinking water utilities by using GIS: in Aurangabad city, Maharashtra, India. *CSI Transactions on ICT*, 6(1), 77–81. <https://doi.org/10.1007/s40012-017-0185-5>
- Sánchez, D., & Mendoza, M. (2021). SIG aplicado a la optimización del tiempo de diseño en redes de distribución de agua potable. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 42(1), 68–80. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382021000100068&lang=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382021000100068&lang=pt)
- Segura, J. (2023). *Planificación operativa institucional en la ejecución presupuestal en los administrativos de una unidad ejecutora de la Región Pasco* [Universidad César Vallejo]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3000/SilvaAcosta.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttps://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/1046>
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. (2009). Índices De Calidad De Agua En Fuentes Superficiales Utilizadas En La Producción De Agua Para Consumo Humano. Una Revisión Crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79–94. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4845739>
- Unicef. (2023). *Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene*. New York: United Nations Children’s Fund (UNICEF) and World Health Organization (WHO). <http://apps.who.int/bookorders>.
- Yan, W., Li, J., Liu, M., Bai, X., & Shao, H. (2017). Data-based multiple criteria decision-making model and visualized monitoring of urban drinking water quality. *Soft Computing*, 21(20), 6031–6041. <https://doi.org/10.1007/s00500-017-2809-y>
- Zhang, S., Zhao, M., Liu, Z., Yang, F., Lu, B., Zhao, Z., Gu, K., Zhang, S., Lei, M., Zhang, C., Wang, C., & Cai, W. (2023). City-level population projection for China under different pathways from 2010 to 2100. *Scientific Data*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02735-6>