



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable para garantizar la dotación con pronósticos de población al 2050 en Puno”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniera Civil**

**AUTORA:**

Bach. Karina Ebely Sotomayor Alzamora ([ORCID: 0000-0002-9560-1743](https://orcid.org/0000-0002-9560-1743))

**ASESOR:**

Ms. Ing. Gustavo Adolfo Aybar Arriola ([ORCID: 000-0001-8625-3989](https://orcid.org/000-0001-8625-3989))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
Diseño de obras hidráulicas y saneamiento

**CALLAO - PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

*A Dios*

*Por la fortaleza, por ser mi fe y el bastón que necesito para seguir de pie en las etapas más difíciles de mi vida.*

*A mis padres*

*Pedro Sotomayor Chambi y Domitila Alzamora Sánchez, con todo mi amor y cariño, por el enorme sacrificio y esfuerzo que han puesto en mi educación, por brindarme fuerzas, por demostrarme que siempre es posible alcanzar tus metas, por inculcarme los valores que hoy demuestro, por creer siempre en mí y jamás dejarme sola.*

*A mis hermanos y sobrino*

*Percy, Guina, Yemily, Hazzan y James, por aguantarme todos los caprichos, por las tardes de juegos y películas, por demostrarme que somos una familia unida y siempre están a mi lado brindándome su apoyo.*

*A mis amigos*

*Con los que he fortalecido lazos desde el colegio, la universidad, A-Shinden, donde encontré grandiosos seres humanos.*

## **Agradecimiento**

*Esta investigación ha sido una gran bendición en todo sentido y eso te lo agradeceré eternamente Dios, ya que me permites disfrutar de mi familia, a mi familia que siempre me brinda su hombro en cada decisión y proyecto que tome, gracias también a la vida que me permite permanecer junto a ustedes.*

*El camino no siempre fue sencillo, pero con ustedes y Dios de mi lado, con su amor e incondicionalidad las metas como esta son más fáciles de alcanzar.*

*A la Universidad Cesar Vallejo por la oportunidad de permitirme llevar a cabo esta investigación de tesis en esta Facultad de Ingeniería Civil.*

## Índice de Contenidos

Dedicatoria .....	I
Agradecimiento .....	II
Índice de tablas.....	IV
Índice de figuras.....	VII
RESUMEN: .....	IX
ABSTRACT:.....	X
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Antecedentes .....	6
2.2 Marco conceptual.....	8
III. METODOLOGÍA .....	20
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	20
3.2 Variables y operacionalización .....	21
3.3 Población, muestra y muestreo .....	22
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
3.5 Procedimientos .....	25
3.6 Método de análisis de datos .....	25
3.7 Aspectos éticos.....	25
IV. RESULTADOS .....	26
V. DISCUSIÓN .....	93
VI. RECOMENDACIONES .....	97
VII. CONCLUSIONES .....	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
ANEXOS .....	106

## Índice de tablas

Tabla 1. Cálculo de la muestra 2020 .....	23
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	23
Tabla 2. Coeficiente alfa de Cronbach .....	24
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	24
Tabla 3. Proyección de la demanda de agua potable para el 2050 en la ciudad de Puno .....	26
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	26
Tabla 4. Población censada del Distrito de Puno .....	27
<i>Fuente: INEI</i> .....	27
Tabla 5. Tasa de crecimiento medio de la proyección poblacional total .....	28
<i>Fuente: INEI</i> .....	28
Tabla 6. Cálculo de población base .....	29
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	29
Tabla 7. Cálculo de los índices para los métodos de progresión .....	30
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	30
Tabla 8. Progresión: Método Aritmético.....	31
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	31
Tabla 9. Progresión: Método Geométrico.....	32
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	32
Tabla 10. Progresión: Método Incremental .....	33
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	33
Tabla 11. Progresión: Método Exponencial .....	34
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	34
Tabla 12. Regresión Polinómica.....	35
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	35
Tabla 13. Método de Curva Normal Logística .....	37
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	37
Tabla 14. Dotación .....	40
<i>Fuente: RNE – Norma OS.100</i> .....	40
Tabla 15. Consumo doméstico de la Ciudad de Puno .....	41
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	41
Tabla 16. Consumo público de la Ciudad de Puno.....	42
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	42
Tabla 17. Consumo público de la Ciudad de Puno.....	43
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	43
Tabla 18. Cuadro de resultados en el mejoramiento de la infraestructura .....	44
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	44
Tabla 19. Sistema de abastecimiento de agua potable existente .....	45
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio</i> .....	45
Tabla 20. Fuente de captación Chimu.....	49
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	49
Tabla 21. Diagnóstico de la captación Chimu Antigua y Nueva.....	49
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	49
Tabla 22. Fuente de captación Totorani .....	51
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	51

Tabla 23. Diagnóstico de la captación Totorani.....	51
<i>Fuente: Elaborado por el autor.....</i>	<i>51</i>
Tabla 24. Fuente de captación Aracmayo.....	52
<i>Fuente: Elaborado por el autor.....</i>	<i>52</i>
Tabla 25. Diagnóstico de la captación Aracmayo.....	52
<i>Fuente: Elaborado por el autor.....</i>	<i>52</i>
Tabla 26. Rendimiento total de Captaciones de la ciudad.....	52
<i>Fuente: Elaborado por el autor.....</i>	<i>52</i>
Tabla 27. Diagnóstico de la línea de impulsión Chimu.....	53
<i>Fuente: Elaborado por el autor.....</i>	<i>53</i>
Tabla 28. Diagnóstico de la línea de conducción.....	54
<i>Fuente: Elaborado por el autor.....</i>	<i>54</i>
Tabla 29. Características del lecho de soporte y lecho filtrante.....	56
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>56</i>
Tabla 30. Características del lecho de soporte y lecho filtrante.....	59
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>59</i>
Tabla 31. Esp. técnicas de equipos en la estación de bombeo módulo I.....	60
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>60</i>
Tabla 32. Esp. técnicas de equipos en la estación de bombeo módulo II.....	61
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>61</i>
Tabla 33. Esp. técnicas de equipos en la estación de bombeo módulo III.....	62
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>62</i>
Tabla 34. Diagnóstico de la planta de tratamiento Aziruni.....	62
<i>Fuente: Elaborado por el autor.....</i>	<i>62</i>
Tabla 35. Esp. técnicas de equipos en la estación de re-bombeo R-04.....	63
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>63</i>
Tabla 36. Esp. técnicas de equipos en la estación de re-bombeo R-02.....	63
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>64</i>
Tabla 37. Esp. técnicas de equipos en la estación de re-bombeo RA-03.....	64
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>64</i>
Tabla 38. Diagnóstico de las estaciones de re-bombeo.....	65
<i>Fuente: Elaborado por el autor.....</i>	<i>65</i>
Tabla 39. Características de las líneas de conducción de agua tratada.....	66
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>66</i>
Tabla 40. Esp. técnicas de los equipos de la estación de re-bombeo y reservorios.....	67
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>68</i>
Tabla 41. Redes matrices y redes de distribución.....	69
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>69</i>
Tabla 42. Evolución de conexiones de agua potable de la ciudad de Puno.....	70
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>70</i>
Tabla 43. Evaluación de la cobertura de agua potable.....	70
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>70</i>
Tabla 44. Producción de Agua potable.....	71
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>71</i>
Tabla 45. Cobertura y continuidad por sectores.....	72
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio.....</i>	<i>72</i>

Tabla 46. Usuarios Activos de consumo de Agua potable por categoría .....	73
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio .....</i>	<i>73</i>
Tabla 47. Control de calidad de agua potable 2020 .....	74
<i>Fuente: Laboratorio de la Empresa prestadora del servicio .....</i>	<i>74</i>
Tabla 48. Estructura tarifaria de agua potable 2020 .....	75
<i>Fuente: Laboratorio de la Empresa prestadora del servicio .....</i>	<i>75</i>
Tabla 49. Estructura tarifaria de agua potable 2020 .....	79
<i>Fuente: Laboratorio de la Empresa prestadora del servicio</i>	
Tabla 50. Criterios de decisión.....	82
<i>Fuente: Choosing the optimal technology to rehabilitate the pipes in water distribution systems</i>	
<i>using the ATH method - Aschilean loan .....</i>	<i>82</i>
Tabla 51. Fundamental scale .....	83
<i>Fuente: The Analytic Hierarchy Process - Thomas L. Saaty .....</i>	<i>83</i>
Tabla 52. Valores del coeficiente promedio en función al rango de la matriz.....	83
<i>Fuente: Choosing the optimal technology to rehabilitate the pipes in wáter distribution systems</i>	
<i>using the ATH method - Aschilean loan .....</i>	<i>83</i>
Tabla 53. Programas de medidas.....	90
<i>Fuente: Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú .....</i>	<i>90</i>
Tabla 54. Recursos hídricos naturales propios por AAA y persistencia .....	92
<i>Fuente: Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú .....</i>	<i>92</i>

## Índice de figuras

Figura 1. Ciudad de puno .....	2
<i>Fuente: MPP</i> .....	2
Figura 2. Provincia de Puno .....	3
<i>Fuente: MPP</i> .....	3
Figura 3 Departamento de puno .....	3
<i>Fuente: MPP</i> .....	3
Figura 4. Configuración típica de un sistema de abastecimiento de agua en localidad urbana .....	15
<i>Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Tomo 12</i> .....	15
Figura 5. Construcción de línea de conducción .....	16
<i>Fuente: Revista Tecnología MINERA – Ampliación y mejoramiento del S.A.P. de Arequipa</i> .....	16
Figura 6. Procesos de una Planta de Tratamiento de Agua potable.....	16
<i>Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Tomo 12</i> .....	16
Figura 7. Densidad poblacional al 2050 .....	39
<i>Fuente: MPP - Elaborado por el autor</i> .....	39
Figura 8. Uso de suelo de la ciudad .....	41
<i>Fuente: MPP</i> .....	41
Figura 9. Configuración del sistema de abastecimiento de agua potable - Puno .....	45
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	45
Figura 10. Esquema del sistema de abastecimiento de agua potable - Puno.....	46
<i>Fuente: SUNASS</i> .....	46
Figura 11. Localización de las captaciones existentes .....	53
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	53
Figura 12. Ubicación de estaciones de re-bombeo y Reservorios.....	68
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	68
Figura 13. Redes de distribución .....	69
<i>Fuente: Empresa prestadora del servicio</i> .....	69
Figura 14. Propuesta de ubicación de las captaciones nuevas.....	76
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	76
Figura 15. Diagrama de flujo y operación .....	78
<i>Fuente: System dynamic modeling – Endah Angreni</i> .....	78
Figura 16. Propuesta de ubicación de los reservorios nuevos .....	79
<i>Fuente: System dynamic modeling – Endah Angreni</i> .....	79
Figura 17. Simulation and Optimization model .....	80
<i>Fuente: Reservoir optimization in wáter resources: A Reiew – Anmed El-Shafie</i> .....	80
Figura 18. Crecimiento de las redes de distribución.....	81
<i>Fuente: System dynamic modeling – Endah Angreni</i> .....	81
Figura 19. Métodos de rehabilitación de tuberías sin zanjas.....	82
<i>Fuente: Universidad Politécnica de Valencia <a href="https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/pipe-jacking/">https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/pipe-jacking/</a></i> .....	82
Figura 20. Diagrama de flujo del sistema de abastecimiento de agua .....	84
<i>Fuente: Modernization in Water Distribution System</i> .....	84
Figura 21. Diagrama de bloques del sistema PLC (Programmable Logic controller) .....	84
<i>Fuente: www.jifactor.com</i> .....	85
Figura 22. SCADA – Simulación del sistema .....	85
<i>Fuente: Automated Urban Water Supply System and Theft Identification</i> .....	85
Figura 23. Método usando estaciones de lavado móvil.....	87
<i>Fuente: Water Quality Correction Within Water Distribution System</i> .....	87



## Índice de gráficos

Gráfico 1. Población censada del Distrito de Puno .....	27
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	27
Gráfico 2. Población base .....	29
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	29
Gráfico 3. Población base y Método Aritmético.....	31
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	31
Gráfico 4. Población base y Método Geométrico.....	32
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	32
Gráfico 5. Población base y Método Incremental .....	33
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	33
Gráfico 6. Población base y Método Exponencial .....	34
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	34
Gráfico 7. Población base y Método de regresión polinómica.....	36
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	36
Gráfico 8. Población base y Método Curva Normal Logística .....	37
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	37
Gráfico 9. Comparativa de la Población base y los seis Métodos utilizados .....	38
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	38
Gráfico 10. Evolución de la producción de agua potable.....	71
<i>Fuente: Elaborado por el autor</i> .....	71
Gráfico 11. Distribución de los recursos hídricos naturales por AAA del pacífico.....	91
<i>Fuente: Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú</i> .....	91

## **RESUMEN:**

Esta investigación se generó como resultado del problema de la escasez de agua potable en la ciudad en el largo plazo, por lo que se propone mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Puno al 2050, donde como primer paso para encontrar el número de la población de la ciudad para ese año, se realizan una serie de cálculos para encontrar su pronóstico utilizando varios métodos como el método aritmético, geométrico, incremental, exponencial, regresión polinomial y función logística, eligiendo al final el resultado que más se asemeje la proyección base establecida por el comportamiento de los últimos censos realizados en el país, esta cifra se utilizó para estimar la demanda y diseñar caudales. Posteriormente, se realizó la evaluación del estado del sistema para fijar como meta la mejora necesaria y respuesta de su implementación, todo esto para conseguir que la demanda en el 2050 sea satisfactoria, esta relación está sujeta a nuevas propuestas como el diseño, la tecnología e implementación de softwares que optimicen su operación, respetando el plan de desarrollo sustentable, que nos permita conservar los recursos hídricos como fuente de abastecimiento y mejorando las técnicas de sustentabilidad que se puedan aplicar a nuestra realidad.

Palabras clave:

Agua potable, sistema de abastecimiento, métodos de pronóstico de población, sostenibilidad, recurso hídrico

## **ABSTRACT:**

This research was generated as a result of the problem of the shortage of drinking water in the city in long term, so it is proposed to improve the drinking water supply system for the city of Puno by 2050, where how firsts step to finded the number of the population in the city for that year, a series of calculations are carried out to find its forecast using various methods how the method arithmetic, geometric, incremental, exponential, polynomial regression y logistics function, choosing at the end the result that most resembles the base projection established by the behavior of the last censuses carried out in the country, this figure was used to estimate demand and design flow rates. Subsequently, the evaluation of the state of the system was carried out to set goal the necessary improvement and response of it implementation, all this to get so that the demand in 2050 is satisfactory, this relationship is subject to new proposals how the design, technology and implementation of softwares that optimizes its operation, respecting to the sustainable development plan, which allows us to conserve water resources as a source of supply and improving sustainability techniques that can be appli to our reality.

### Keywords:

Drinking water, supply system, population forecasting methods, sustainability, water resource

## **I. INTRODUCCIÓN**

A lo largo del tiempo los gobiernos han infravalorado la importancia del diseño y aplicación de un sistema eficiente de abastecimiento de agua potable, lo que ha marcado una deficiencia grave en esta brecha, debido principalmente al crecimiento explosivo y no planificado de las urbes, ciudades pequeñas o en desarrollo y pueblos jóvenes, este problema además de ser complicado por su estructura también comprende aspectos económicos, sociales y hasta culturales que generan condiciones muy diferentes de acuerdo al lugar de estudio y por consiguiente genera una respuesta igualmente diferente.

Es así que la presente investigación se enfoca en realizar una evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable en cantidad y calidad en la ciudad de Puno, que cumpla con las características ya mencionadas y donde se identifican los puntos débiles para proponer alternativas adecuadas que satisfagan la necesidad requerida por la población futura.

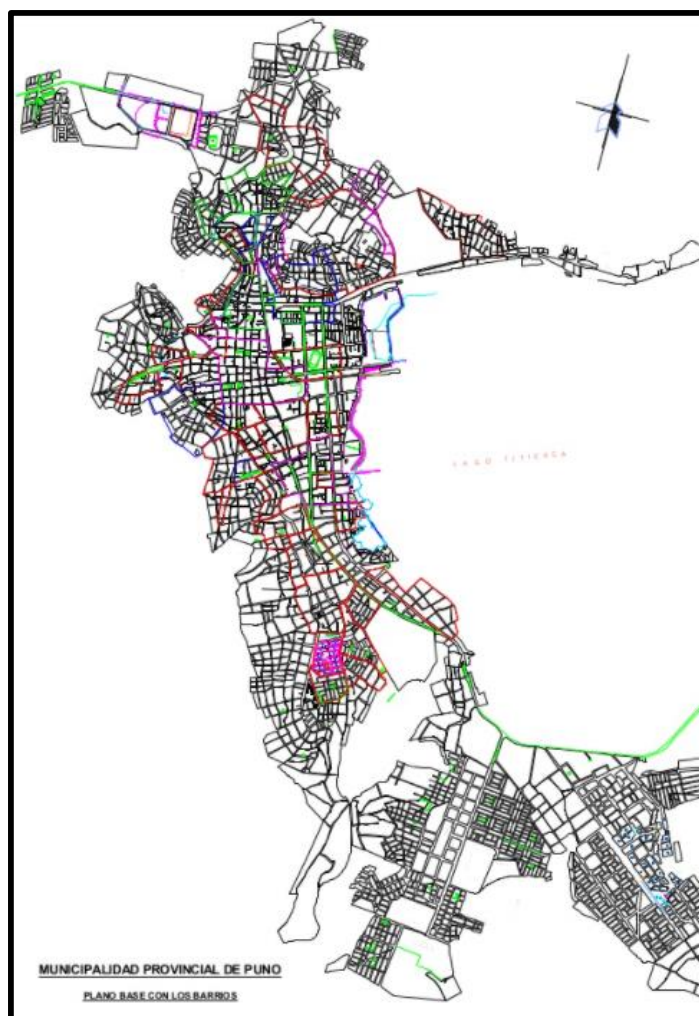
Actualmente la pandemia ha demostrado el lastimoso sistema de abastecimiento del agua potable en casi todas las ciudades del país evidenciando su mal manejo de los recursos, su falta de captación, su infraestructura al tope, su falta de tecnología e innovación, sus redes y accesorios deficientes y por último la no implementación del desarrollo sostenible como medio de educación y reflexión sobre el uso adecuado de los recursos hídrico, muchos de ellos factores críticos todos ellos indispensables para los nuevos hábitos que esta pandemia ha desarrollado en los habitantes. Por tal motivo se propone evaluar la capacidad de la empresa prestadora del servicio de agua potable, así como examinar los mejores métodos de predicción poblacional, estimar la dotación de agua potable para el año 2050 y evaluar los factores más críticos para la necesidad futura del sistema de abastecimiento, dentro de los que se propondrán: infraestructura, tecnología e innovación de redes. A demás entrando al desarrollo sostenible de los recursos hídricos se proponen puntos que deberían tomarse en cuenta a la hora de empezar los nuevos sistemas de abastecimiento de agua potable en las ciudades del país.

Desde este punto veremos dos hechos fundamentales que resaltan el servicio de abastecimiento de agua potable en la ciudad, la primera es la ausencia de catastro

Territorial Multifinalitario (CTM) del área urbana el cual nos permitiría saber con exactitud la extensión de las líneas de distribución y su avance de acuerdo al desarrollo de la ciudad, y la segunda la instalación de conexiones domiciliarias legales que sin duda es la más importante pues nos permitiría tener una lectura exacta de su consumo y llegar a todos los hogares de la ciudad.

Al área de estudio la denominaremos como la ciudad de Puno, ubicada en el Distrito de Puno (**Figura 1**), Provincia de Puno (**Figura 2**) y Departamento de Puno (**Figura 3**) maneja el sistema de Abastecimiento de agua potable y reconoce los factores más importantes a intervenir para el mejoramiento de su sistema de abastecimiento de agua potable.

Figura 1. Ciudad de Puno



*Fuente: MPP*

Figura 2. Provincia de Puno



Fuente: MPP

Figura 3 Departamento de Puno



Fuente: MPP

➤ **Formulación de los problemas de investigación:**

**Problema general**

Después de analizar la problemática del servicio de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Puno con ayuda del árbol de problemas (Anexo), establecemos la siguiente interrogante:

- ¿Cómo podemos lograr el mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable que garantice su dotación empleando pronósticos de población al año 2050 en Puno?

**Problemas específicos**

- ¿En qué medida se debe incrementar el consumo de agua potable empleando pronósticos de población al año 2050 en la ciudad de Puno para abastecer a su población?
- ¿Qué factores serán satisfactorios para mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable al año 2050 para la ciudad de Puno?
- ¿Cómo podemos mejorar el desarrollo sostenible de los recursos hídricos en la ciudad de Puno?

➤ **Justificación de la investigación**

Esta investigación considera la importancia del mejoramiento sistema de abastecimiento del agua potable, iniciando por las bases teóricas de todo componente de la estructura de su sistema, además se estudiarán el consumo de agua potable, que es una de las principales problemáticas de los últimos tiempos, misma que se vio reflejada en la actual pandemia, además para la población futura y crecimiento demográfico necesitamos saber cuál es el incremento de consumo, eso nos marcará el punto de partida para los factores críticos del sistema actual, además también tenemos que tener en cuenta varios aspectos como: la eficiencia económica del uso racional de agua y el actuar de acuerdo a los estándares ambientales y de sostenibilidad, considerando al agua como un bien económico sostenible, entendiéndolo de esa manera podemos por fin resaltar la importancia de este recurso como un elemento de riqueza y bienestar que proporcionara un nivel de vida de calidad.

En este contexto, podemos precisar la necesidad de un equilibrio constante entre la dotación y el abastecimiento para la planificación hídrica y su proyección como un

reto inaudible a superar, es por eso que evaluaremos como el sistema de abastecimiento de agua potable será capaz de cumplir no solo con la dotación diaria que necesitará para el futuro en la ciudad, sino que también si esta será capaz de cumplir con los estándares de calidad para el consumo humano. Para encontrar estos puntos se desarrolló un diagrama de Ishikawa o Causa –Efecto (Espina de pez) detallado en el Anexo.

➤ **Objetivos de la investigación:**

**Objetivo general**

- Mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable para garantizar su dotación empleando pronósticos de población al año 2050 en la ciudad de Puno.

**Objetivos específicos**

- Incrementar el consumo de agua potable que abastezca a la población al año 2050 en la ciudad de Puno empleando un pronóstico de población.
- Evaluar los factores que satisfagan el mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable al año 2050 para la ciudad de Puno.
- Mejorar el desarrollo sostenible de los recursos hídricos en la ciudad de Puno garantizaran su sostenibilidad.

➤ **Hipótesis:**

**Hipótesis general**

- El mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable garantizará la dotación de agua potable hasta el año 2050 en la ciudad de Puno.

**Hipótesis específicas**

- El incremento de consumo de agua potable empleando un pronóstico de población al año 2050 en la ciudad de Puno abastece a la población.
- Los factores evaluados satisfarán el abastecimiento de agua potable al año 2050 en la ciudad de Puno.
- Las medidas tomadas para mejorar el desarrollo sostenible de los recursos hídricos en la ciudad de Puno garantizarán su sostenibilidad.



## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

Desde el desarrollo de las ciudades vemos como la ingeniería hidráulica ha jugado un rol fundamental en el progreso y prosperidad de estas, pues la población ha tenido como necesidad indispensable al acceso al agua como un recurso básico y primordial para su progreso y calidad de vida.

#### ➤ Antecedentes internacionales

La propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable -RDAP- del Municipio de Madrid, Cundinamarca de la Universidad Católica, Bogotá, Colombia hace un esfuerzo por mostrar un proceso de optimización elaborado para la red de distribución de agua potable del municipio de Madrid, este se desarrolló en el programa EPANET, programa gratuito principalmente dirigido para comunidades vulnerables que no tienen una Red de distribución de agua Potable (RDAP) o para mejorar el saneamiento de las localidades. En esta investigación vemos que su RDAP tiene problemas de presión debido a que esta no está proyectada para la cantidad de población que en el momento se tiene, esto debido a malos manejos administrativos que no han dirigido adecuadamente sus recursos económicos para usarlos en la renovación los tramos y mejorando la sectorización según la expansión que se desarrolla en el municipio. Este modelo se diseñó para satisfacer las necesidades de la población en la situación más crítica que en este caso se propuso los fines de semana, pues según cuentan los trabajadores de la planta de tratamiento de agua potable, la demanda del municipio en los fines de semana se logra duplicar su abastecimiento, problema que es incómodo para los habitantes por que manejan presiones bajas (Florián Pulido, 2017).

A demás según afirma Mekonnen (2018) “el pronóstico de la población es fundamental según la disposición de sostener el sistema de abastecimiento de la ciudad determinada”, este trabajo se enfoca en determinar los parámetros de consumo y de acuerdo a los resultados planteando un esquema de diseño del abastecimiento de agua potable que dependerá de la población actual hasta las

próximas tres (03) décadas, su pronóstico se basó en el resultado obtenido de la progresión experimental después de haber utilizado los cuatro métodos: Aritmético, aumento incremental, geométrico y exponencial que son los métodos de tasa de crecimiento, estos datos fueron utilizados para el cálculo de tuberías, longitud del sistema de distribución, magnitud del embalse, capacidad de las bombas, planta de tratamiento, sistemas de suministro de agua y distribución, demanda per-cápita.

Se afirma que la gestión adecuada de un sistema de agua en una municipalidad es fundamental para el sustento de la ciudad, "...la estimación del agua urbana siempre ha sido una tarea desafiante para administradores de servicios de agua..." donde se evalúan las incertidumbres de crecimiento de población por problemas como el impacto del cambio climático, la contaminación, además de establecer nuevos métodos para estimar la variación de consumo de agua mensual con respecto a la anterior generando una base de datos histórica, esta metodología desempeña un importante rol en la mejora de la calidad del procesamiento de datos para determinar un resultado en la predicción para la aplicación del nuevo modelo hídrico que se propone utilizar (Zubaidi et al., 2020).

#### ➤ **Antecedentes nacionales**

En el Caserío de Ayangay se realizó un análisis situacional a fin de obtener información actualizada de la población y de esta manera obtener un diagnóstico del sistema de abastecimiento. Para eso tomaron factores que afectaron directamente al consumo de agua como fueron el socioeconómico, el número de habitantes, número de viviendas e instituciones públicas, tipo de población y tasa de crecimiento poblacional. De esta manera con los datos conseguidos se determinó el consumo doméstico, público, además del diagnóstico de su sistema de agua potable estableciendo su caudal medio, máximo diario y máximo horario futuro (Perleche Otiniano & Tamayo Rodriguez, 2018).

También se realizó un diagnóstico y se plantearon propuestas de mejora del sistema de agua potable en la localidad de Maray donde se vieron factores estrechamente relacionados al mal funcionamiento de su sistema, desde la captación existente hasta las conexiones domiciliarias, por lo que se propuso

mejoras, reparaciones e incremento de elementos en todo el sistema actual que cumple con el abastecimiento de agua para el consumo de su población garantizando un adecuado servicio a la población servida (Ariza Cornelio, 2019).

En la investigación donde se evalúa el sistema de agua potable de la urbanización Valle esmeralda se examinó posibles fuentes de agua, especialmente las subterráneas, donde se plantearon alternativas de extracción mediante pozos tubulares para satisfacer a su población con una proyección de 15 años, y con una respuesta técnica-económica que sea viable para dicha urbanización, esta propuesta está estrechamente ligada a las condiciones naturales (desérticas – valle fértil), además de asegurar todas las condiciones sanitarias, y reduciendo en gran parte los costos de un abastecimiento de agua por el método de captación ya antes mencionado, justificando su utilización y cómo se convierte en su mejor alternativa (Concha Huánuco, Juan Y Guillén Lujan, 2014).

## **2.2 Marco conceptual**

Como primer punto a tratar en esta investigación empezaremos con: el cálculo de la población, demanda, determinaremos la dotación según RNE, la variación de consumo que es primordial para el diseño y demanda de agua además de una serie de factores esenciales al ámbito de estudio que se tiene por objetivo abastecer y que se modifica de un ámbito a otro, de la misma manera también podría variar en diferentes sectores de distribución dentro de un mismo ámbito.

El consumo de agua de una determinada población se deduce por la cantidad de litros usada por persona en un día, esta cantidad no es la aplicada a un día cualquiera, sino al promedio anual de consumo y se basa en la población total de la localidad analizada (Agüero Pittman, 1997).

Se puede estudiar la demanda futura de agua proyectando lo que puede ser la base teórica general de dicha demanda con relación al pronóstico. Además, presenta tres métodos de cálculo generales como son: los métodos analíticos que nos refiere curvas matemáticas dependiendo de las particularidades de la población y los intervalos de tiempo que se han utilizado para su medición, métodos comparativos

que por medio de operaciones gráficas se estiman valores de población en relación directa por ejemplo de datos censales y por último el método racional que está enfocado a un estudio socio-económico del área de estudio donde se consideran factores como el crecimiento vegetativo, natalidad, mortalidad, inmigraciones, emigraciones y población flotante (Agüero Pittman, 1997).

Se puede examinar y valorar el contenido sociodemográfico de los instrumentos de organización hidrológica pueden regular la gestión del agua en distintos lugares y a diferentes escalas. Se realiza un análisis donde se compara el empleo de muchas técnicas y variables sociodemográficas de la relación entre la administración española y países con un alto nivel de difusión de la información al público como: Estados Unidos y la República de Sudáfrica (Belén Pedregal, 2004).

Una metodología investiga las cualidades y preferencias de la población referidas al consumo de agua en la capital de Thessaloniki, Grecia, con el fin de evaluar habilidades en la gestión de la demanda de agua. Las encuestas para este estudio se realizaron con una muestra de 2171 hogares, donde se analizaron puntos como la demografía, los problemas en la operación y calidad del agua y los diversos usos que le da la población, afectaciones de la reducción del consumo, evaluación del precio de agua, incentivos para la conservación del agua, disposición a pagar por la mejora del servicio de agua, entre otros. Dichas encuestas fueron diseñadas especialmente con intención de generar políticas sobre el agua que permitan mejorar el servicio y conservar el recurso (políticas de ahorro). Los resultados fueron comparados con una encuesta similar realizada en 1995 con el fin de sacar conclusiones sobre el cambio de política con relación al agua urbana (Kolokytha et al., 2002).

La estimación adecuada de la demanda del servicio de agua potable es sumamente necesaria para la planeación y diseño de los sistemas de suministro, sin embargo, en la actualidad la estimación de la demanda se basa principalmente en los datos promedio de facturación mensual y mediciones del gasto de suministro, como también de los registros de las válvulas que presentan. En su artículo podemos ver cómo es que el consumo de agua en una vivienda fluctúa desde instantáneos consumos de agua (generalmente de poca duración), seguidos por periodos prolongados sin consumo, por lo que plantean el uso de curvas tabuladas, cuyos

datos se basan por mediciones de tuberías principales, fuentes y reservorios. Viendo que la realidad de la demanda de agua en el consumo doméstico tiene un carácter particular con respecto a sus hábitos y necesidades específicas (Tzatchkov et al., 2003).

La predicción de crecimiento de la población tendrá que estar perfectamente justificada de acuerdo a las características propias de cada ciudad, incluyendo sus factores socioeconómicos y su tendencia de desarrollo. La población resultante de nuestro cálculo para cada una de sus etapas de diseño deberá coordinarse con las áreas densidades del pan regulador respectivo y los programas de desarrollo regionales (Vierendel, 2009).

Para esta predicción el cálculo de la población futura podemos emplear una diversidad de métodos como es el método Aritmético, Geométrico, Exponencial, de Extensión gráfica, etc.

El método aritmético progresivo se define al método aritmético progresivo como la tasa promedio de aumento de la población que se asume constante década a década (Mekonnen, 2018). Este incremento de década a década se obtiene con los datos censales de su población obtenidos por su oficina encargada de los censos y estadística del país. El dato obtenido y el número de décadas necesarias para el cálculo se suman a la población actual de la ciudad, esta población futura la calcularemos con la siguiente formula:

$$P_{\eta} = P_0 + n * k$$

Donde,  $P_{\eta}$  = Población futura después de “ $\eta$ ” décadas

$P_0$  = Población actual

$n$  = número de décadas

$k$  = aumento promedio por década

El método incremento geométrico está basado en el supuesto porcentaje de aumento de la población que de una década a otra permanece constante. Este método determina el porcentaje medio de crecimiento de las últimas décadas, por lo cual el pronóstico de la población se realizó sobre la base de que el aumento

porcentual por década será el mismo (Mekonnen, 2018). Este porcentaje promedio por década se obtuvo a partir de los datos censales expuestos del país en o población. El dato que obtuvimos está en función de la siguiente fórmula.

$$P_{\eta} = P_o * (1+G)^n$$

Dónde,  $P_{\eta}$  = Población futura después de “ $\eta$ ” décadas

$P_o$  = Población actual

$n$  = número de décadas

$G$  = aumento porcentual promedio por década

El método de aumento incremental es una versión mejorada de los dos anteriores. Este método determina el aumento medio de la población por el método aritmético y a esto se suma el promedio del incremento neto una vez por cada década (Mekonnen, 2018). El cálculo de la población futura se calculó a partir la ecuación presentada a continuación.

$$P_{\eta} = P_o + n * (k_1 + K2)$$

Dónde,  $P_{\eta}$  = Población futura después de “ $\eta$ ” décadas

$P_o$  = Población actual

$n$  = Número de décadas

$K1$  y  $K2$  = Aumento promedio por década

El método exponencial es utilizado por la autoridad Central de estadísticas de Etiopia (Mekonnen, 2018), la usaremos en base a los datos de la tabla N°14.

$$P_n = P_o * e^{r*n}$$

Dónde,  $P_{\eta}$  = Población futura después de “ $\eta$ ” décadas

$P_o$  = Población actual

$n$  = Número de décadas

$r$  = Tasa de crecimiento

e = Exponencial

El método de regresión polinómica, se basa en los mismos criterios de los mínimos cuadrados, estas regresiones se calculan mediante las ecuaciones de primer grado:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots a_nx^n$$

Si derivamos cada coeficiente, obtendremos un sistema de ecuaciones de la forma, así mismo este polinomio de segundo grado podemos calcularlo con los tres últimos censos del país (Carhuapoma & Chahuayo, 2019). Este sistema de ecuaciones se puede representar de forma matricial, quedando cada una de estas como:

$$\begin{bmatrix} m & \Sigma x & \Sigma x^2 \\ \Sigma x & \Sigma x^2 & \Sigma x^3 \\ \Sigma x^2 & \Sigma x^3 & \Sigma x^4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma x \\ \Sigma xy \\ \Sigma x^2y \end{bmatrix} \quad S = \left\{ \begin{array}{ccc} am & b\Sigma x & c\Sigma x^2 \\ a\Sigma x & b\Sigma x^2 & c\Sigma x^3 \\ a\Sigma x^2 & c\Sigma x^3 & c\Sigma x^4 \end{array} \right. = \left. \begin{array}{c} \Sigma x \\ \Sigma xy \\ \Sigma x^2y \end{array} \right\}$$

El método de la función logística se basa en una función logística se utiliza para calcular el crecimiento poblacional en base a los datos censales del país utilizando logaritmos naturales, con este método se pueden obtener resultados muy cercanos a la realidad además de proporcionar estimaciones aceptables, este método es el más sonado actualmente en la literatura demográfica (Diaz Martínez, 2000).

$$Pf = \frac{Ps}{1 + e^{a+bt}}$$

$$Ps = \frac{2P_0P_1P_2 - P_1^2(P_0 + P_2)}{P_0P_2 - P_1^2}$$

$$a = Ln \left( \frac{P_s - P_0}{P_0} \right)$$

Dónde, Pf = Población futura después

Po = Población actual

Ps = Población de saturación

t = Tiempo en décadas

a, b = Constantes propias de la ecuación

d = Diferencia de Pi-Po / P2-Pi

$$b = \frac{1}{d} Ln \left[ \frac{P_0(P_s - P_1)}{P_1(P_s - P_0)} \right]$$

La demanda de agua potable indica consumo doméstico como la cantidad de agua utilizada en el hogar, esta dependerá en gran medida del clima y clase socioeconómica del usuario y varía en algunos casos por las siguientes razones: red de presión de agua, saneamiento, costo del agua, consumo comercial es agua utilizada en áreas comerciales, consumo industrial es agua utilizada en fábricas, hoteles, etc. Y esa cantidad depende del tipo de actividad industrial y, en última instancia, del consumo de agua del estado que se utiliza para combatir escuelas, jardines y parques, hospitales e inclusive incendios (Jiménez Terán, 2009).

Además, la estimación de la demanda de agua potable que este mismo autor nos sugiere esta proporcionada en función de sus particularidades como son la cantidad de agua disponible, magnitud de la población, clima, tipo de actividad principal, nivel económico, calidad de agua y presión del agua.

Perleche Otiniano & Tamayo Rodriguez (2018) nos dice que existen también factores que afectan el consumo de agua, dichos factores pueden ser de tamaño y nivel de vida de la población, características culturales, económicas y sociales de la población, clima de la zona, hábitos de higiene de la población, modalidad del abastecimiento, calidad de agua suministrada, presión de la red de distribución, control de consumo,

El coeficiente de variación indica que, en las redes públicas de abastecimiento de agua, el consumo anual de agua no es el mismo y varía de una temporada a otra, de un mes a otro y de una hora a otra. Las causas de las fluctuaciones del consumo incluyen el cambio climático, la altitud y el estilo de vida de las personas (Agüero Pittman, 1997).

En cuanto a los gastos de diseño tenemos al gasto medio diario que es el agua que un beneficiario requiere en un día de consumo promedio y para un lugar en específico y se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_{med} = P \times D / 86400$$

donde:

Q<sub>med</sub>: Gasto medio diario en lts. / seg.

P: Número de habitantes

D: Dotación en lts / hab / día

86400: segundos / día



El gasto máximo diario y gasto máximo horario son necesarios para determinar la cantidad de agua requerida por una localidad para poder satisfacer las necesidades de agua en un día de máximo consumo y a la hora de máximo consumo respectivamente. Tomando como base el gasto medio diario los gastos máximo diario y máximo horario, (Jiménez Terán, 2009) se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{md} = CV_d \times Q_{med}$$

donde:

$Q_{md}$ : Gasto máximo diario en lts. /seg.

$CV_d$ : Coeficiente de variación diaria (de 1.2 a 1.5)

$Q_{med}$ : Gasto medio diario en lts. / seg.

$$Q_{mh} = CV_h \times Q_{md}$$

donde:

$Q_{mh}$ : Gasto máximo horario en lts. /seg.

$CV_h$ : Coeficiente de variación horaria (de 1.5 a 2.0)

$Q_{md}$ : Gasto máximo diario en lts. / seg.

Los coeficientes regulación influyen principalmente en los tanques pues estas pueden modificar o cambiar el método para determinar las aportaciones constantes (captación y conducción) a una modalidad de consumo variable. Sabiendo que la capacidad de almacenamiento como un tanque de agua se determina por la ley de máxima demanda y gasto máximo diario, el factor de corrección se da en función del tiempo de entrega y el agua que debe almacenarse (preferentemente en horas de bajo consumo para poder utilizarla en horas de mayor demanda). Para calcular el coeficiente de regulación, es importante conocer la cantidad de horas de aportación y horas de bombeo, así como el horario de cada uno de ellos.

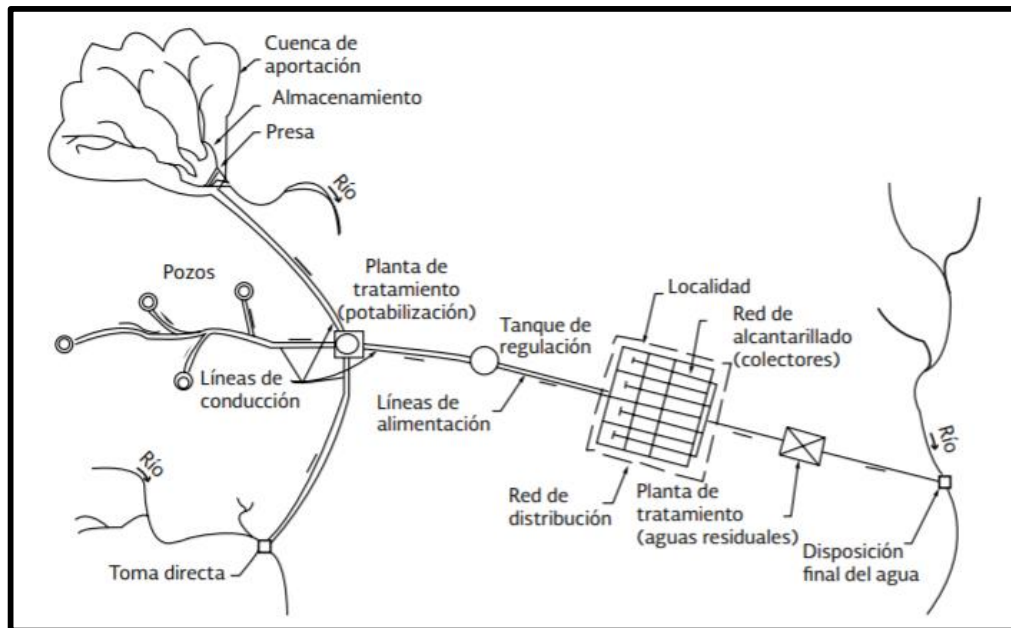
El sistema de abastecimiento de agua potable es básicamente un conjunto de estructuras que permiten llevar el agua a la población mediante conexiones domiciliarias, servicios públicos, industriales y otros diferentes usos. Consta de varios métodos físicos y químicos necesarios para mejorar su calidad haciendo que esta sea apta para el consumo humano (reduciendo y eliminando bacterias, sustancias venenosas, turbidez, olor, sabor, etc.).

Las fuentes existentes se dividen según como el agua cae al suelo, una parte del cual se drena rápidamente y se condensa en corrientes de agua como torrentes

eventuales, formando avenidas, parte de ella se evapora en la superficie, corrientes de agua o se filtra en el terreno en este último por ejemplo una parte es recogida por la vegetación, sudan a través de las hojas, y otras correrán a través por el suelo, formando arroyos que fluyen en tiempo seco (Agüero Pittman, 1997).

El sistema de abastecimiento constituye la parte más importante del acueducto y no debe ni puede concebirse un buen proyecto si previamente no hemos definido y garantizado fuentes capaces para abastecer a la población futura del diseño.

Figura 4. Configuración típica de un sistema de abastecimiento de agua en localidad urbana



*Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Tomo 12*

La captación nos dice que la fuente de abastecimiento en forma directa o con obras de regulación deberá asegurar el caudal máximo diario requerido. Este será dependiente del tipo de fuente y de las características particulares. Su diseño será ajustado a las características de la fuente (Agüero Pittman, 1997).

Las líneas de conducción transportan el agua desde la cámara de captación hasta la planta de tratamiento o el reservorio regulador, cumple la función de transportar el agua cruda a lo largo de una tubería con un caudal determinado (Agüero Pittman, 1997).

Figura 5. Construcción de línea de conducción

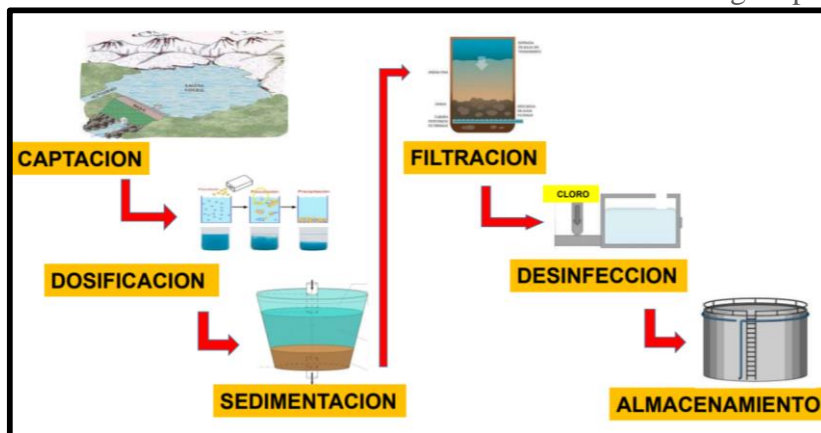


*Fuente: Revista Tecnología MINERA – Ampliación y mejoramiento del S.A.P. de Arequipa*

A la vez se considera el transporte de agua que conecta la captación con la estación de depuración o tanque de almacenamiento, se hace mediante una línea de conducción (Agüero Pittman, 1997).

Las plantas de tratamiento (PTAP) son lugares donde se presta el tratamiento, que se refiere a todos los procesos físicos, mecánicos y químicos que harán que el agua adquiera las características necesarias para que sea apta para su consumo. Los tres objetivos principales de una planta potabilizadora son lograr un agua que sea segura para consumo humano, estéticamente aceptable y económica. Para el diseño de una planta potabilizadora, es necesario conocer las características físico-químicas y biológicas del agua, así como los procesos necesarios para modificarla. Los principales componentes de esta son: pretratamiento, coagulación – floculación, Decantación, Filtración, Desinfección, Filtración por múltiples etapas y Alternativas de tratamiento FiME.

Figura 6. Procesos de una Planta de Tratamiento de Agua potable



*Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Tomo 12*

El reservorio o tanque de almacenamiento es un elemento de regulación que juega un papel básico en el sistema de distribución de agua potable, tanto del punto de vista económico, como por su importancia en el funcionamiento hidráulico del sistema y en el mantenimiento de un servicio eficiente, este elemento de regulación cumple con tres propósitos fundamentales: Compensar las variaciones de consumo que se producen durante el día, mantener las presiones de servicio en la red de distribución y mantener almacenada cierta cantidad de agua para atender situaciones de emergencia tales como incendios e interrupciones por daño de tuberías de conducción o de captación. Lo que lo lleva a comprender los siguientes parámetros de diseño: Volumen, tipo de reservorio, ubicación de reservorio. tuberías de llegada, salida, limpia y rebose, By – Pass y sistema estructural.

De acuerdo a Carhuapoma & Chahuayo (2019) el volumen de almacenamiento total para el diseño está compuesto por la suma de la regulación de consumo, volumen contra incendios y de reserva, tal como se muestra en la expresión:

$$V_{\text{almacenamiento}} = V_{\text{Regulación de consumo}} + V_{\text{Contra incendio}} + V_{\text{Reserva}}$$

El volumen contra incendios sugeridos se encuentra en función al tipo de uso de las áreas adaptadas del Reglamento de elaboración de Proyectos de Agua potable y alcantarillado para habilitaciones urbanas (Compendio Normativo de Saneamiento, 2018). Donde las Áreas netamente destinadas a vivienda (Residencial) tienen un volumen de 100 m<sup>3</sup> y para las áreas destinadas a uso comercial o industrial 200 m<sup>3</sup>.

El volumen de reserva asegura que el sistema funcione normalmente si existiera una anomalía en los elementos o componentes que constituya el sistema íntegro, estos fallos como lo menciona Carhuapoma & Chahuayo (2019) pueden ser fallas en bombas, la no disposición de la fuente de captación, roturas en las líneas de conducción, distribución, etc.

El Autor Vierendel (2009) señala que el volumen de reserva se puede determinar mediante las expresiones presentadas a continuación:

$$V_{\text{Reserva}} = 25\% (V_{\text{Total}})$$

$$V_{Reserva} = 33\% (V_{Regulación} + V_{Contra Incendio})$$

$$V_{Reserva} = Q_p \times t$$

Con: 2 hrs < t < 4 hrs.

En la propuesta de Carhuapoma & Chahuayo, (2019) considera que para vivienda o habilitaciones se considera el volumen de reserva de un 7% del consumo máximo diario.

Se le llama línea de alimentación al conjunto de tuberías que sirven para conducir el agua desde el reservorio hasta la red de distribución, cada día son más usuales por la lejanía de los tanques y la necesidad de tener zonas de distribución con presiones adecuadas.

Las redes de distribución representan un sistema de tuberías las cuales son las encargadas de entregar el agua a los usuarios en su domicilio, debiendo ser el servicio constante las 24 horas del día, en cantidad adecuada y con la calidad requerida para todos y cada uno de los tipos de zonas socio-económicas (comerciales, residenciales de todos los tipos, industriales, etc.) que tenga la localidad que se esté o pretenda abastecer de agua. El sistema incluye válvulas, tuberías, tomas domiciliarias, medidores y en caso de ser necesario equipos de bombeo.

En cuanto a las conexiones nos referiremos al número de conexiones o puntos de entrega que registra el proveedor del servicio de agua potable en la ciudad en particular.

La calidad del agua está basada principalmente en el concepto de que es aquella que al consumirla no dañara ni causará efectos que dañen al organismo del ser humano, está tampoco daña los materiales que son usados en la construcción del sistema en sí mismo, estos requerimientos según Agüero Pittman (1997) pueden ser:

- Estar libres de organismos patógenos que pueden causar enfermedades en el cuerpo humano.

- No debe de poseer compuestos que sean adversos, crónicos o agudos con efectos sobre el ser humano.
- Ser razonablemente transparente, es decir sin turbidez, ausencia de color, que pueda verse a través de esta, etc.
- El agua debe estar libre de sabores y olores que causan desagrado al momento de consumirla.
- El agua no debe causar corrosión, incrustación u otro efecto dentro del sistema de abastecimiento.
- No debe manchar las prendas con su contacto.
- El agua no debe ser salina.

Ahora también el reglamento del país nos muestra los anexos de los límites máximos permisibles que nos muestra si la fuente es apta para el consumo humano (Parámetros microbiológicos y parasitológicos, virus, calidad organoléptica, olor, color, sabor, metales, y parámetros químicos inorgánicos y orgánicos), todos ellos tendrán que ser evaluados siguiendo un monitoreo que cumpla el protocolo el cual asegura las muestras y nos certifica el análisis de las muestras. Solo los laboratorios acreditados por el INACAL pueden hacer los análisis para informes oficiales para presentar a entidades del estado (Reglamento de La Calidad Del Agua Para Consumo Humano, 2011).

En cuanto a cantidad Agüero Pittman (1997) nos dice que el valor del caudal mínimo debe estar por encima del consumo máximo diario (Qmd) que tiene por finalidad cubrir la demanda de la futura población.

El agua es un bien actualmente limitado, pues su disponibilidad depende de muchos factores como clima, ubicación y ahora tecnología. Por lo que se puede decir que es necesaria una gestión sostenible del agua, esto implica capacitación de difícil implementación, normatividad, tecnología y soluciones alternativas. Es el agua sostenible el que marca el perímetro de desarrollo sostenible. Y la disponibilidad de las tecnologías determinará el agua sostenible (González-Garcés Santiso, 2004).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

➤ **Tipo de investigación:**

El Tipo Investigación que se utilizó para el presente proyecto es de tipo **Básica**, obedece el paradigma Cuantitativo, ya que la presente investigación se someterá al análisis e interpretación numérica de los datos que se obtendrán, los cuales son parámetros cuantificables y medibles que pueden ser determinados utilizando herramientas, instrumentos y conocimientos.

➤ **Diseño de investigación:**

El diseño de la investigación por la naturaleza del Problema y los objetivos propuestos, será el de carácter **No Experimental**, pues se encargará de observar los fenómenos que ocurren en favor del entorno donde se encuentra, para posteriormente describirlos y analizarlos sin requerir simular un entorno controlado.

Además, tomaremos el estudio transversal descriptivo para la observación de datos de las variables en un periodo de tiempo dentro de la población y muestra estratificada, este estudio también es conocido como estudio transversal, de prevalencia o corte trasversal simplemente.

Esquema:



donde:

M: Población beneficiada.

O: Información recogida de la ciudad de Puno.

El nivel de investigación es **Descriptivo - Correlacional**, descriptivo debido a que se observaran los parámetros de abastecimiento de agua potable y los consumos de esta, correlacional, puesto que para determinar el mejoramiento se deben relacionar todos los parámetros y variables existentes.

Se aplicará el método **Hipotético – Deductivo**, debido a que, mediante las observaciones y tratamiento de los datos, podremos plantear una teoría para la formulación de la hipótesis y a su vez tener un razonamiento deductivo de cómo tratar los resultados.

De igual manera el diseño de esta investigación será ex post facto, puesto que será necesario e indispensable la utilización de datos recogidos en el campo, además de correlacionar sus variables para determinar el resultado.

### **3.2 Variables y operacionalización**

#### **➤ Variables:**

**Variable I:** Sistema de abastecimiento de agua potable; según la normatividad es el conjunto de instalaciones, infraestructura, maquinaria y equipos que son necesarios para la captación, almacenamiento y conducción del agua cruda; y para su tratamiento, almacenamiento, conducción y distribución posterior de agua potable. También considera parte de la distribución a las conexiones domiciliarias y piletas públicas con sus medidores de consumo (Compendio Normativo de Saneamiento, 2018).

**Variable II:** La dotación de agua potable; se determina que la dotación promedio diaria anual por habitante, se fija en base a un estudio de consumos técnicamente justificados, sustentado con informaciones estadísticas comprobadas de la población (Os - 100 Consideraciones Básicas De Diseño De Infraestructura Sanitaria, 2006).

#### **➤ Operacionalización de variables:**

Apolaya Segura (2015) asegura que es el proceso por medio del cual se lleva una variable desde el nivel abstracto hasta el plano concreto para poder hacerla medible además nos dice que es necesario definir estas para evaluar de manera adecuada los resultados de la investigación que se lleva a cabo.



Los cuatro pasos que debemos tener en cuenta son:

- Definición de variables.
- Determinar las dimensiones de la variable.
- Establecer los indicadores y sub indicadores necesarios.
- Elaboración de las escalas de medición.

La matriz de operacionalización de variables se desarrolla en el Anexo.

### 3.3 Población, muestra y muestreo

La población del estudio está conformada por el área de intervención de la Empresa prestadora de servicio en la ciudad de Puno.

Empezaremos a calcular el tamaño de la muestra total, y para ello debemos saber que variables con las que intervienen al determinar el tamaño de la muestra, entre estas variables tenemos al 1° *nivel de confianza* o también llamado riesgo de aceptación por equivocación al presentar el resultados, también es conocido como grado o nivel de seguridad, este nivel tiene un valor habitual de  $\alpha=0.10$  (90%), como 2° tenemos a la *varianza estimada* o también llamada diversidad de opiniones, esta nos ayuda a saber su opinión y pensamiento acerca del tema que estamos investigando, el 3° margen de error, es el margen que estamos preparados para reconocer, ya que es muy difícil que el porcentaje total de la muestra sea el mismo de la población (100%) con un margen de error u oscilación mínimo, sin embargo en investigaciones como esta con grandes poblaciones el margen suele ponerse en torno al 3% que es el estamos dispuestos a asumir. (Morales, 2012). Es por lo que utilizaremos el método estadístico para determinar la muestra en universos de grandes, como es la ciudad de Puno:

$$\frac{N * (\alpha_c * 0,5)^2}{1 + (e^2 * (N - 1))} =$$

Dónde:

N= Universo (número de hogares en la ciudad de Puno 35,574)

$\alpha$ = Varianza (nivel de confianza 0.10).

e = Margen de error (3%).

Tabla 1. Cálculo de la muestra 2020

	<b>Población</b>	<b>Hogares</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Muestra</b>
<b>TOTAL</b>	142,295	35,574	100%	736

*Fuente: Elaborado por el autor*

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### ➤ **Técnica de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos nos permiten recoger información de manera visual, dichos datos nos servirán para comprender las situaciones donde la información obtenida se sustenta en material concreto como son las fichas técnicas de observación.

- Técnica de la observación; mediante esta técnica se observaron los diferentes problemas que enfrenta la ciudad de Puno por los problemas en el sistema de abastecimiento de agua potable, pues se realizaron visitas a los complejos de la empresa prestadora de servicio de la ciudad de Puno, con el fin de recabar información de sus instalaciones, así como los factores que intervienen en cada uno de ellos, así como problemas de conexiones domiciliarias.
- Técnica de la encuesta; la técnica de la encuesta es un método para la recolección de información que por medio del que de ahora en adelante llamaremos “cuestionario”, se encargara de recopilar la información necesaria, tratando los temas correspondientes a la investigación.

#### ➤ **Instrumentos de recolección de datos**

Es el recurso donde el investigador tiene por compromiso validar la información obtenida del campo, obtenida de acuerdo a las variables propuestas en esta investigación.

- Cuestionario; se tomó en cuenta un cuestionario propuesto y validado por Mekonnen (2019) en su estudio de evaluación de agua sanitaria urbana, este fue adecuado al idioma español y las circunstancias de la población y muestra de estudio correspondiente.

- Ficha descriptiva; se tomó una ficha de verificación del estado de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable.
- Softwares; AutoCAD para procesar los planos requeridos para el muestreo, Sistema de abastecimiento de agua potable; así mismo Microsoft Excel para realizar los cálculos hidráulicos, gráficos y tablas requeridas.
- Equipos; se consideran a todos los elementos que fueron utilizados para realizar todo el proceso de la investigación como: Laptop ASUS, Impresora, Cámara Fotográfica.
- Herramientas; todas las que se usaron para la recolección de datos, Bloc de notas, papelería y útiles de escritorio.

➤ **Validez y confiabilidad**

Carhuancho (2019) nos dice que la validez de un instrumento funciona si mide lo que tiene q medir, y para ello podemos aplicar tres tipos de validez: de contenido, de constructo y predictiva.

De la misma manera se determina métodos o técnicas que determinen la confiabilidad, para esta investigación en específico se utilizó una confiabilidad del 90% para los cuestionarios.

De la misma manera se determina métodos o técnicas que determinen la confiabilidad, para esta investigación en específico se utilizó el coeficiente de alfa de Cronbach para las fichas descriptivas. La siguiente tabla se usó para el diagnóstico de los principales componentes del sistema de abastecimiento de agua potable.

Tabla 2. Coeficiente alfa de Cronbach

<b>RANGO</b>	<b>MAGNITUD</b>
0.00 a 0.20	Muy malo
0.20 a 0.40	Malo
0.40 a 0.60	Regular
0.60 a 0.80	Bueno
0.80 a 1.00	Muy bueno

*Fuente: Elaborado por el autor*

### **3.5 Procedimientos**

Este cuestionario se aplicó a una determinada muestra de la población que será el objeto de estudio, con el fin de recolectar datos referidos al problema, en nuestro caso es el de obtener información respecto al consumo doméstico, comercial, industrial e institucional de agua potable en la ciudad de Puno.

Esta técnica ayudo con la identificación de los factores más representativos con respecto a la dotación del agua potable, por lo que este estudio utilizo la encuesta mostrada en el Anexo.

Se aplicó también la técnica de elaboración de fichas descriptivas donde por medio de la observación en las visitas de campo se usaron para determinar todas las condiciones de los componentes que integran el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Puno en el Anexo.

### **3.6 Método de análisis de datos**

Una vez obtenidos los datos por medio de nuestros instrumentos de investigación se procedió a la recopilación de estos para posteriormente proceder con la identificación de factores que intervienen principalmente en nuestro objetivo de dotar de agua potable a la población en un futuro.

### **3.7 Aspectos éticos**

En la presente investigación se demuestra que todo lo realizado en el ámbito de estudio se realizó de manera veraz, sin copia, falsedad o duplicidad de cualquier otro trabajo de investigación de similares características realizado anteriormente, por lo que, esta autora presenta una investigación propia con honestidad y haciéndose responsable de cualquier observación hecha sobre esta.

#### IV. RESULTADOS

Los resultados del objetivo 1 están relacionados con el incremento de la dotación de agua potable al año 2050 a partir de los datos obtenidos según la población pasada, para ello examinaremos cinco (05) métodos para el cálculo de población futura para la ciudad de Puno para 29 años (2021-2050). Los métodos que se utilizaron fueron el método aritmético progresivo, método de aumento incremental, método de progresión geométrica, métodos de tasa de crecimiento exponencial y método de la curva normal logística, los resultados adquiridos se igualaron con una progresión simple censal lo cual nos permitió comparar y ver cuál de estos métodos se acercó más al comportamiento de crecimiento poblacional que existe en la ciudad de estudio Puno. De acuerdo al resultado obtenido se procedió a calcular la dotación necesaria para satisfacer el consumo de la población al año 2050 incluyendo los servicios como salud, educación, comercio, industria, recreación, institucional y servicios urbanos.

Tabla 3. Proyección de la demanda de agua potable para el 2050 en la ciudad de Puno

<b>AÑO</b>	<b>POBLACIÓN</b>	<b>CONSUMO Qp</b>	<b>CAUDAL MEDIO</b>	<b>CAUDAL md</b>	<b>CAUDAL mh</b>
2050	169,170	30,450,648	389.58	584.37	779.16

*Fuente: Elaborado por el autor*

Como primero paso se desarrollaron los métodos de pronóstico de población futura para obtener la cantidad de habitantes de la ciudad de Puno.

Para ello estableceremos la población actual, sin embargo, esta se desconoce pues no existe un Censo para el año 2021 en la ciudad de Puno, pero tenemos datos de población de los Censos anteriores dados por el INEI por lo que es factible estimar la población a partir de estos datos con los diferentes métodos de estimación presentados anteriormente.

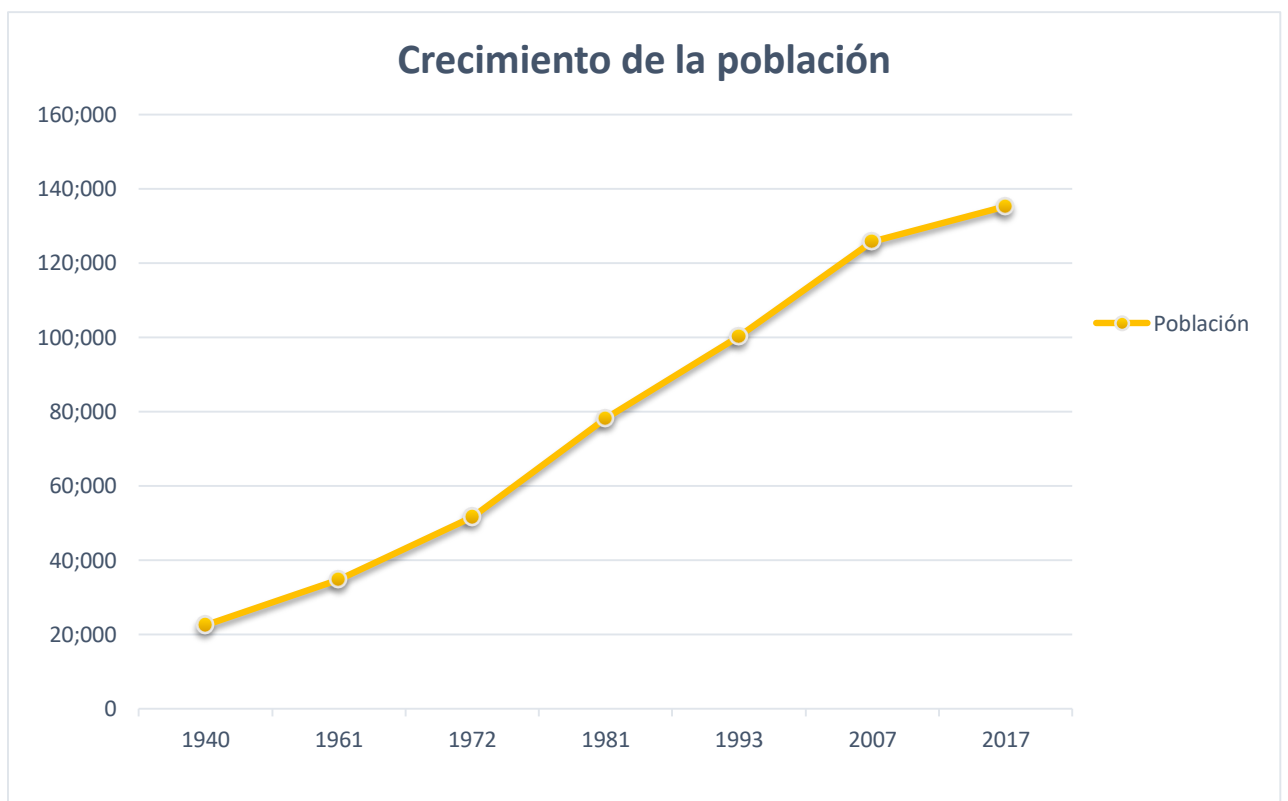
La siguiente tabla muestra los datos obtenidos de los Censos a través de los años en que se realizaron estos.

Tabla 4. Población censada del Distrito de Puno

<b>AÑO</b>	<b>POBLACION</b>
1940	22,472
1961	34,636
1972	51,648
1981	78,195
1993	100,168
2007	125,663
2017	135,288

*Fuente: INEI*

Gráfico 1. Población censada del Distrito de Puno



*Fuente: Elaborado por el autor*

## Tasa de crecimiento de la población

Se le llama tasa de crecimiento al número de individuos que nace en un periodo determinado de tiempo, se expresa como una fracción de la población inicial, específicamente se refiere al cambio en el número de los pobladores durante un tiempo unitario expresado generalmente en porcentaje. En la tabla N° 5 a continuación presentaremos la tasa de crecimiento medio anual del país para reemplazar “r”, según el INEI, estos datos nos permitirán tener la población base de comparación según los censos.

Tabla 5. Tasa de crecimiento medio de la proyección poblacional total

<b>Año</b>	<b>Tasa de crecimiento</b>
2017	1.07
2018	1.06
2019	1.04
2020	1.01
2025	0.85
2030	0.74
2035	0.62
2040	0.49
2045	0.38
2050	0.38

*Fuente: INEI*

## Proyección de la población de acuerdo a los censos

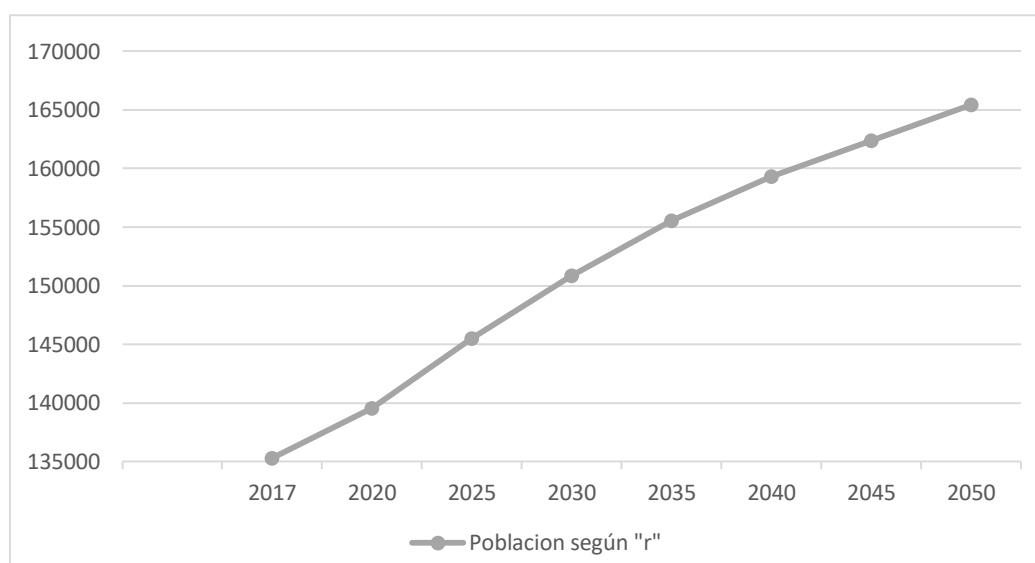
Para comparación con los métodos de proyección utilizaremos un gráfico de proyección según una proyección con los datos correspondiente a los censos presentados en la tabla 4 y la tasa de crecimiento de la tabla 5 como población base para la comparativa y mejor elección del método, es así que el método que más se asemeje a la población base será el que se tome para la presente investigación.

Tabla 6. Cálculo de población base

<b>Año</b>	<b>Población base</b>
2017	135288
2018	136722
2019	138144
2020	139539
2025	145470
2030	150852
2035	155528
2040	159339
2045	162366
<b>2050</b>	<b>165451</b>

*Fuente: Elaborado por el autor*

Gráfico 2. Población base



*Fuente: Elaborado por el autor*

Esta proyección nos ayudará a definir cuál de los métodos puede asemejarse mejor a la proyección de población de la ciudad de Puno, que, si bien estos métodos son reconocidos, la elección de uno de estos variará los resultados por lo que se pretende tener el alcance más exacto de este pronóstico poblacional para el año 2050.



### Proyección de la población de acuerdo a los métodos propuestos

Para hablar los valores de acuerdo a los métodos presentados anteriormente empezaremos con determinar los índices para los métodos de progresión utilizaremos los datos de la tabla 4. Por medio de tres operaciones simples promediadas:

- Índice Aritmético:  $(Pa-Pf) / n^\circ$  años.
- Índice Geométrico: Inc. Aritmético / población
- Índice Incremental: Diferencia del Incremento Aritmético.

Tabla 7. Cálculo de los índices para los métodos de progresión

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Incremento Aritmético</b>	<b>Incremento Geométrico</b>	<b>Incremental</b>
1972	51,648			
1981	78,195	2,949.67		
1993	100,168	1,831.08		-
2007	125,663	1,821.07	0.018	-10.01
2017	135,288	962.50	0.008	-858.57
Total	439,314	7564	0.026	-869
<b>Promedio</b>		<b>1440.33</b>	<b>0.013</b>	<b>-434</b>

*Fuente: Elaborado por el autor*

Dónde:  $K1=1440.33$

$G=0.013$

$K2=-434.29$

$n = 5$

Además, para el método exponencial tenemos:

$e = 2.72$

➤ **Método aritmético:**

$$P_n = P_0 + n * k$$

Donde:

Po= Población Inicial

n= 5

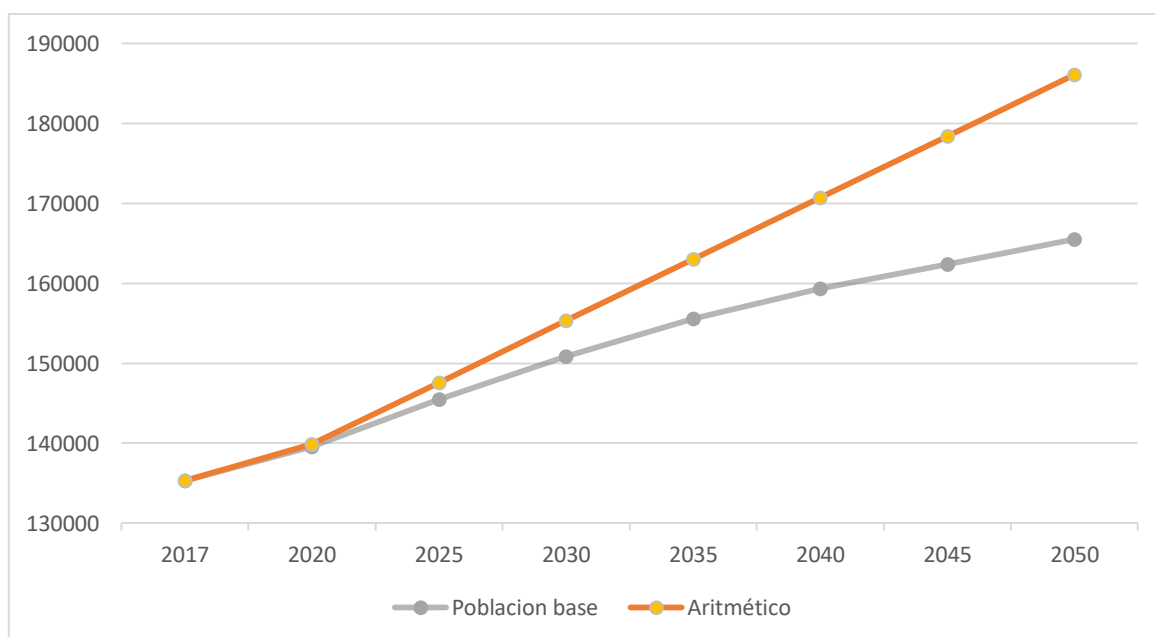
K=1538.22

Tabla 8. Progresión: Método Aritmético

Año	M. Arit.
2017	135288
2020	139903
2025	147594
2030	155285
2035	162976
2040	170667
2045	178358
2050	186049

*Fuente: Elaborado por el autor*

Gráfico 3. Población base y Método Aritmético



*Fuente: Elaborado por el autor*

➤ **Método Geométrico:**

Dónde:

$$P_n = P_0 * (1+G)^n$$

Po= Población Inicial

n= 5

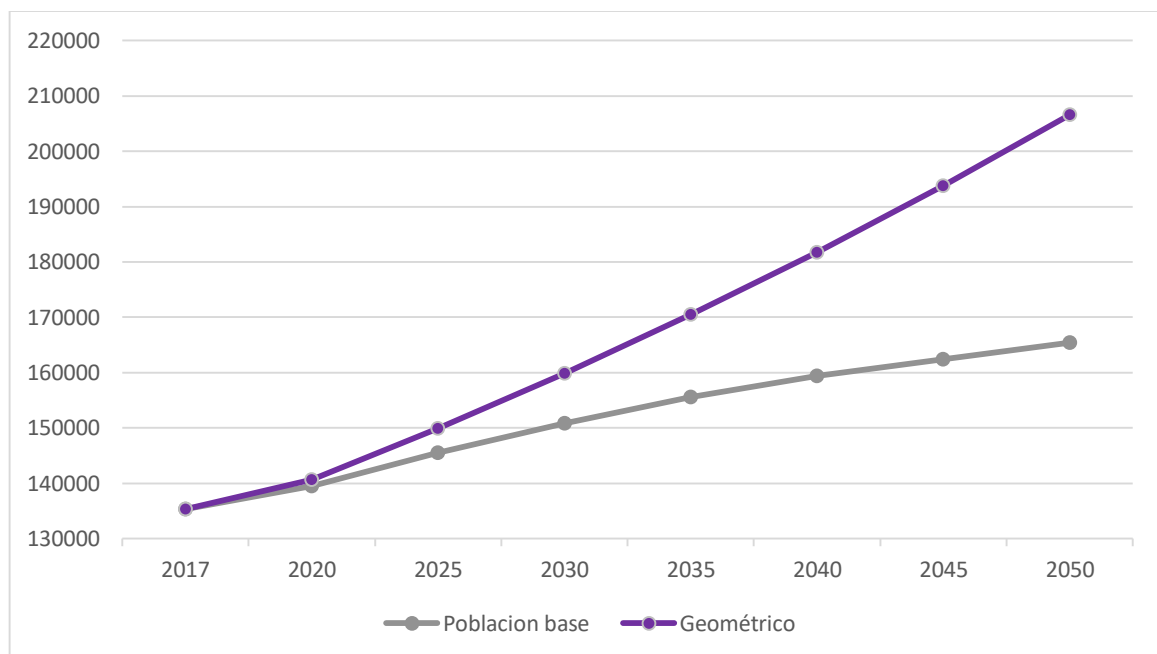
G=0.013

Tabla 9. Progresión: Método Geométrico

Año	M. Geométrico
2017	135288
2020	140600
2025	149920
2030	159858
2035	170455
2040	181755
2045	193803
2050	206650

*Fuente: Elaborado por el autor*

Gráfico 4. Población base y Método Geométrico



*Fuente: Elaborado por el autor*

➤ **Método Incremental:**

Donde:

$$P_n = P_0 + n * (k_1 + K_2)$$

Po= Población Inicial

n= 5

k1=1440.33

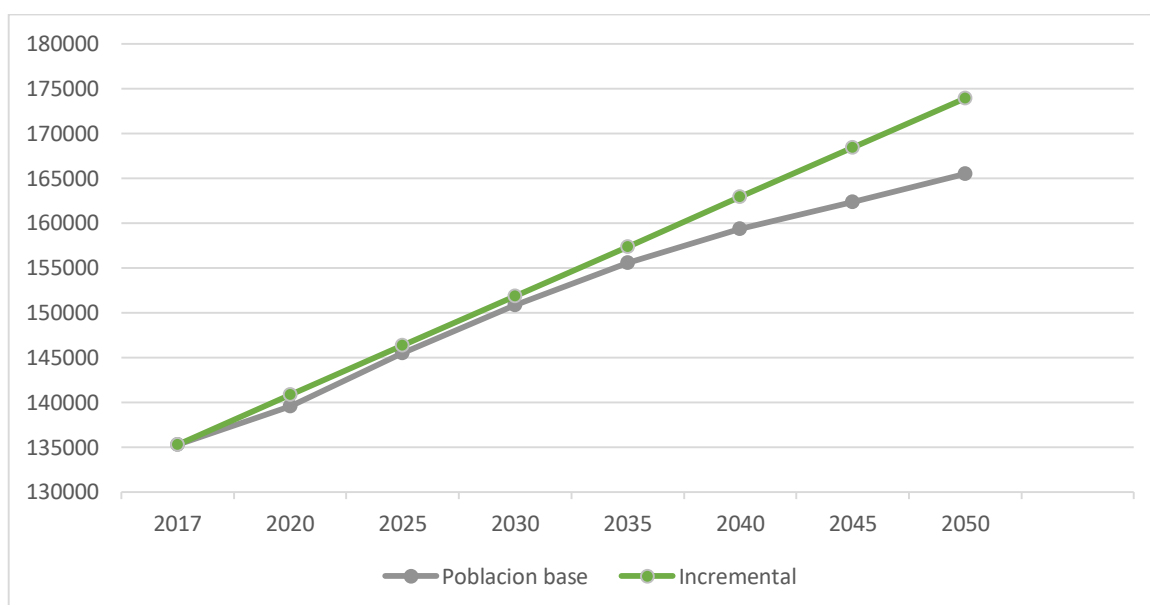
K2=31

Tabla 10. Progresión: Método Incremental

Año	M. Incremental
2017	135288
2020	140808
2025	146327
2030	151847
2035	157367
2040	162886
2045	168406
2050	173925

*Fuente: Elaborado por el autor*

Gráfico 5. Población base y Método Incremental



*Fuente: Elaborado por el autor*

➤ **Método Exponencial:**

Dónde:

$$P_n = P_o * e^{r*n}$$

Po= Población Inicial

n= 5

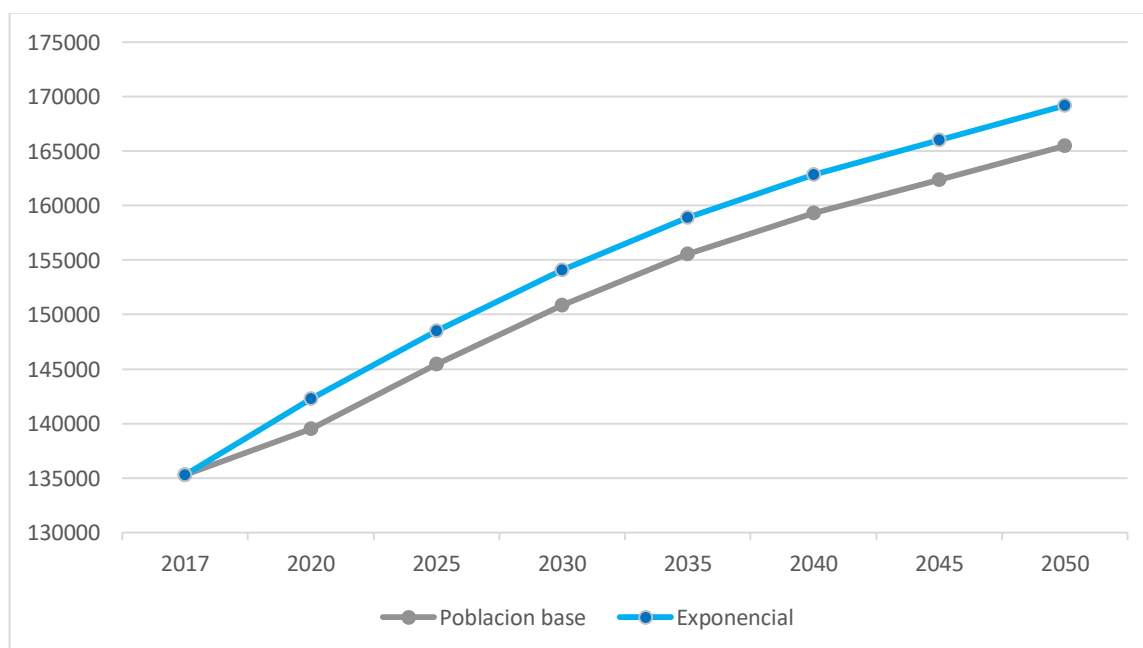
r=Tasa de crecimiento

Tabla 11. Progresión: Método Exponencial

Año	M. Exponencial
2017	135288
2020	142295
2025	148473
2030	154070
2035	158921
2040	162862
2045	165986
2050	169170

*Fuente: Elaborado por el autor*

Gráfico 6. Población base y Método Exponencial



*Fuente: Elaborado por el autor*

➤ **Método regresión polinómica:**

N	Año	X Δτ	Y	X <sup>2</sup>	X <sup>3</sup>	X <sup>4</sup>	XY	(X <sup>2</sup> )Y
1	1993	0	100168	0	0	0	0	0
2	2007	14	125663	196	2744	38416	1759282	24629948
3	2017	24	135288	576	13824	331776	3246912	77925888
	<b>TOTAL</b>	<b>38</b>	<b>361119</b>	<b>772</b>	<b>16568</b>	<b>370192</b>	<b>5006194</b>	<b>102555836</b>

$$\begin{pmatrix} 3 & 38 & 772 \\ 38 & 772 & 16568 \\ 772 & 16568 & 370190 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 361119 \\ 5006194 \\ 102555836 \end{pmatrix}$$

Si resolvemos el sistema de ecuaciones de la anterior matriz, obtenemos los coeficientes de la ecuación cuadrática.

Dónde:

$$a = 100168 \quad ; \quad b = 2321.9048 \quad ; \quad c = -35.77381$$

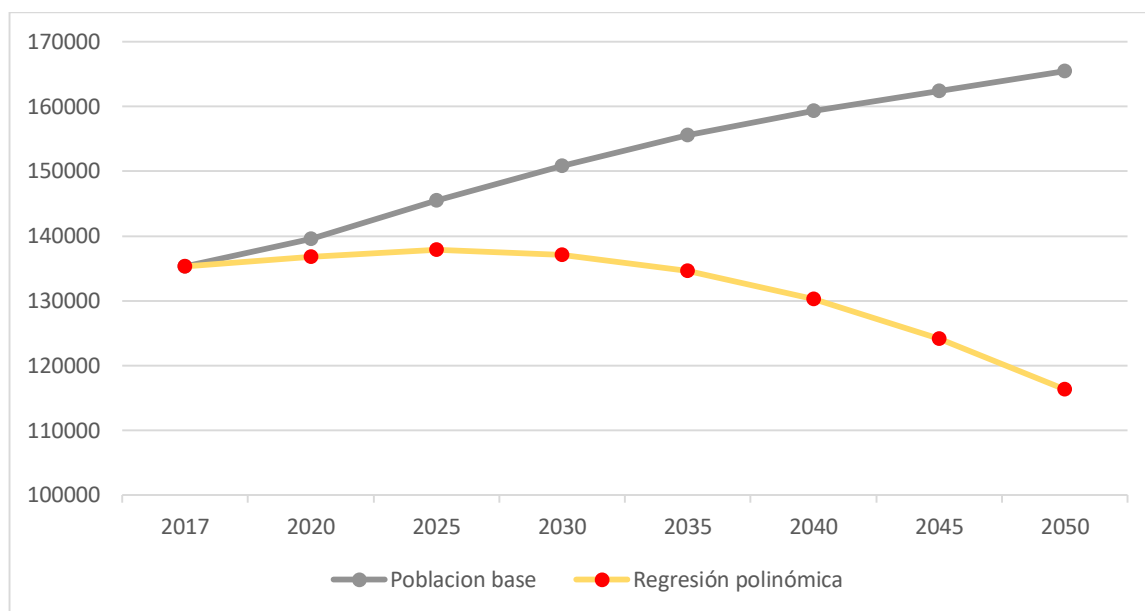
$$y = -3577381x^2 + 2321.9048x + 100168$$

Tabla 12. Regresión Polinómica

Año	M. Regresión Polinómica
2017	135288
2020	136780
2025	137837
2030	137104
2035	134583
2040	130273
2045	124175
2050	116287

*Fuente: Elaborado por el autor*

Gráfico 7. Población base y Método de regresión polinómica



Fuente: Elaborado por el autor

➤ **Método Curva Normal Logística:**

Año	M. Curva L
1997	109144
2007	125663
2017	135288

Comprobamos:

$$P_0 \times P_2 \leq P_1^2$$

$$14'765,873,472 \leq 15'791,189,569 \quad \text{OK!}$$

$$P_0 + P_2 \leq 2 \times P_1$$

$$214,845 \leq 218,288 \quad \text{OK!}$$

Dónde:

$$P_s = \frac{2(109144)(125663)(135288) - 125663^2(109144 + 135288)}{109144(135288) - 125663^2} = 145,149.51$$

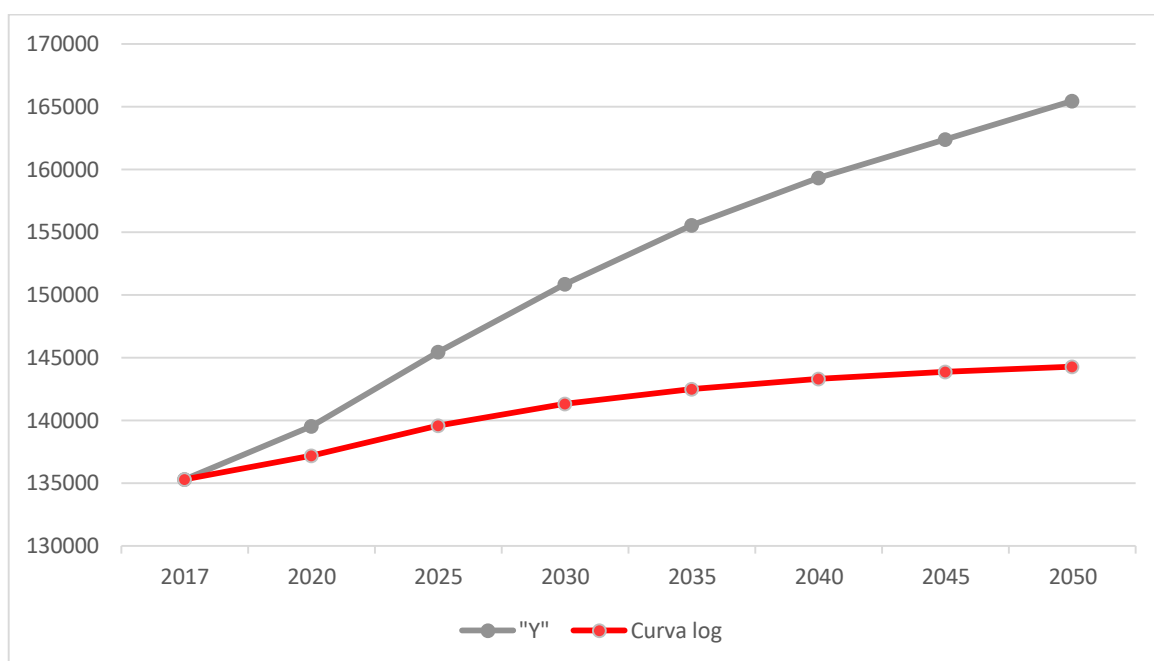
$$a = -1.1090 \quad ; \quad b = -0.7549 \quad ; \quad t = 2.3 \text{ (décadas)}$$

Tabla 13. Método de Curva Normal Logística

Año	M. Curva NL
2017	135288
2020	137177
2025	139587
2030	141289
2035	142481
2040	143309
2045	143883
2050	144279

Fuente: Elaborado por el autor

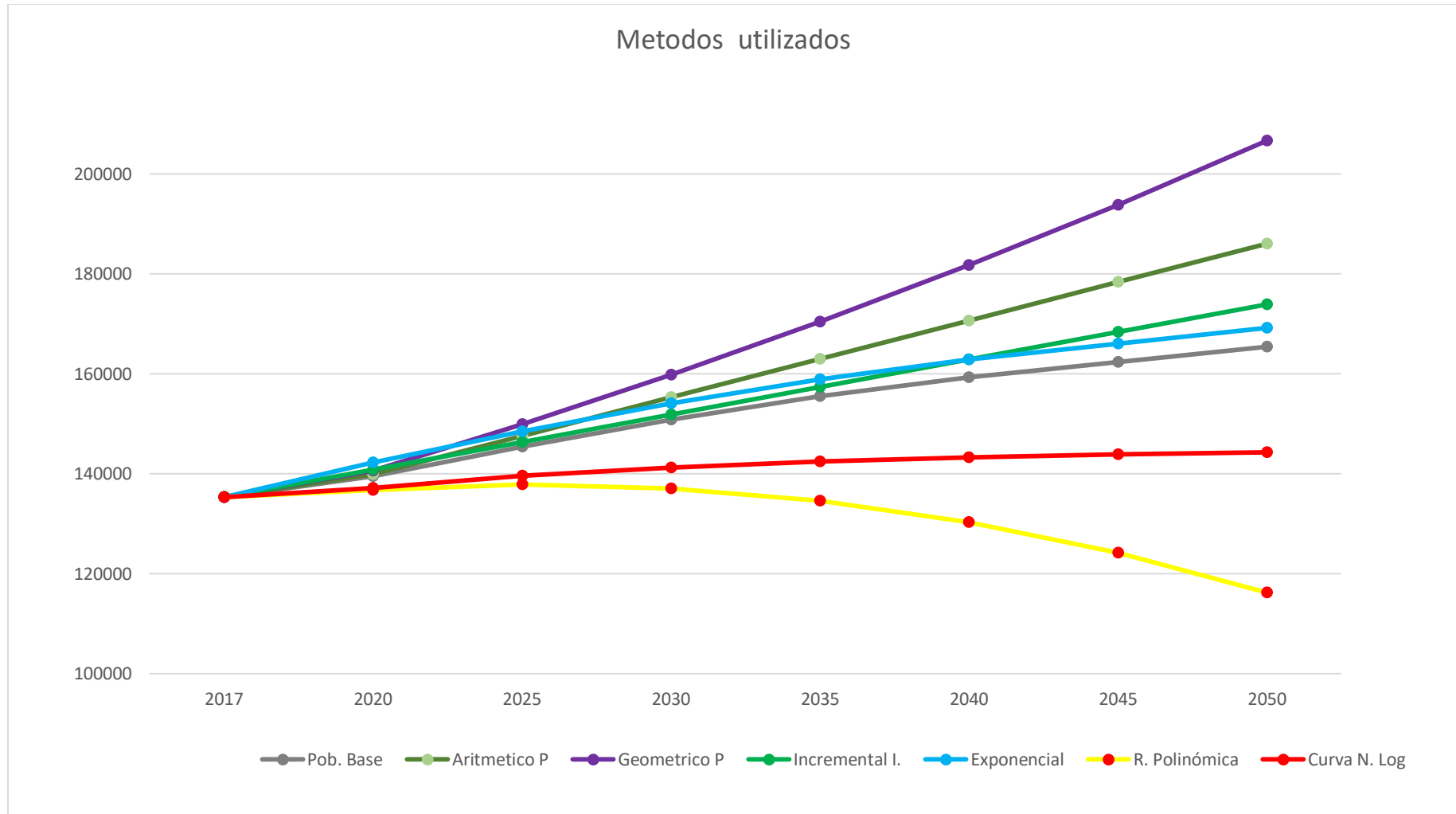
Gráfico 8. Población base y Método Curva Normal Logística



Fuente: Elaborado por el autor



Gráfico 9. Comparativa de la Población base y los seis Métodos utilizados

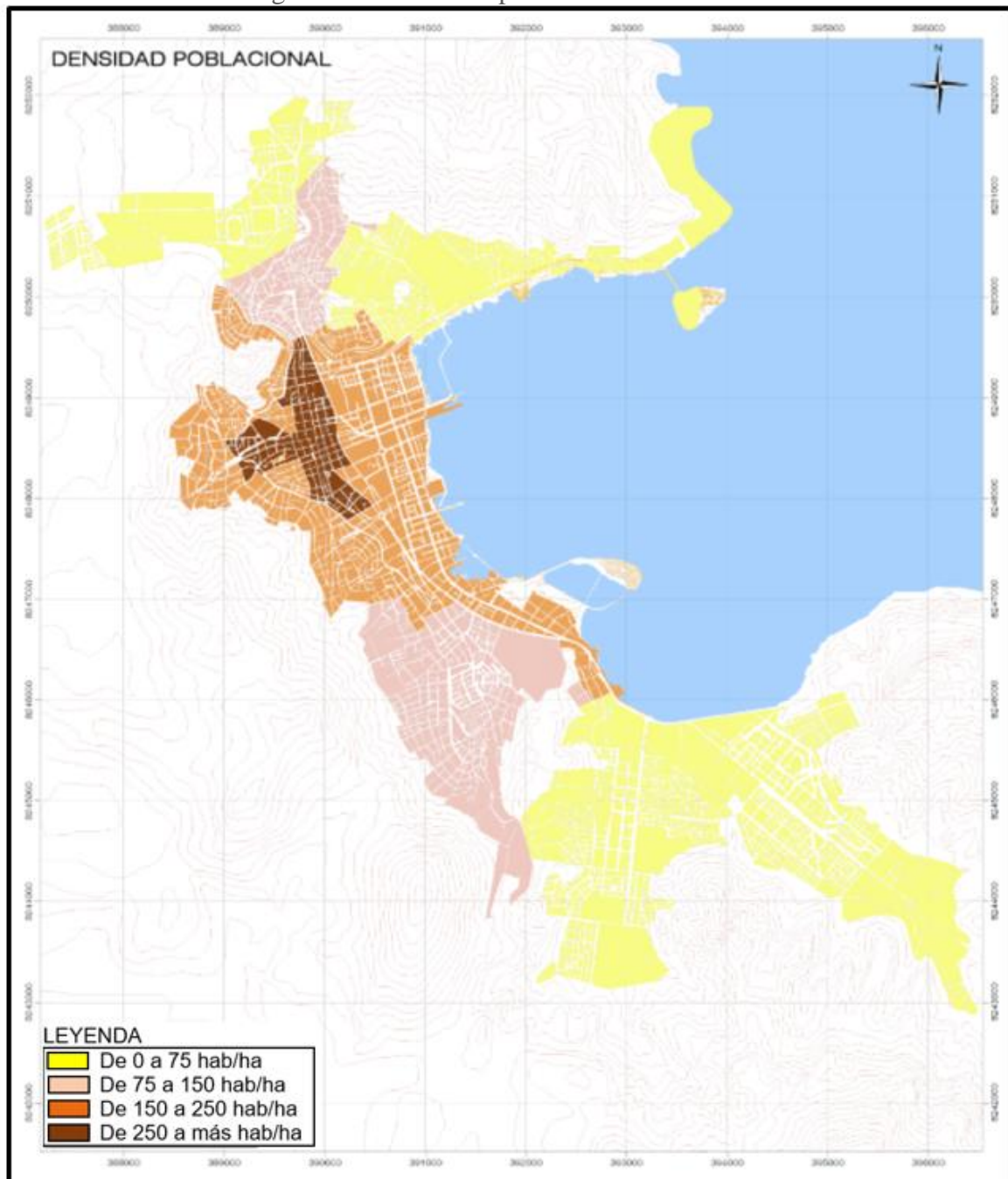


Fuente: Elaborado por el autor

Se observa que la Progresión Exponencial es la que más se acerca a la línea base de progresión, por lo que tomaremos estos resultados para el posterior análisis de la investigación.

A continuación, sectorizamos la densidad poblacional de la Ciudad de Puno asignándoles valores que nos proporcionen una cantidad que se acerque al aproximado calculado.

Figura 7. Densidad poblacional al 2050



Fuente: MPP - Elaborado por el autor

➤ La dotación y el consumo de acuerdo al Artículo 1.4 de la norma OS.100 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), determinaremos la dotación en base al estudio técnico realizado por es que se encuentra justificado y con sustento de información estadística comprobada.

Tabla 14. Dotación

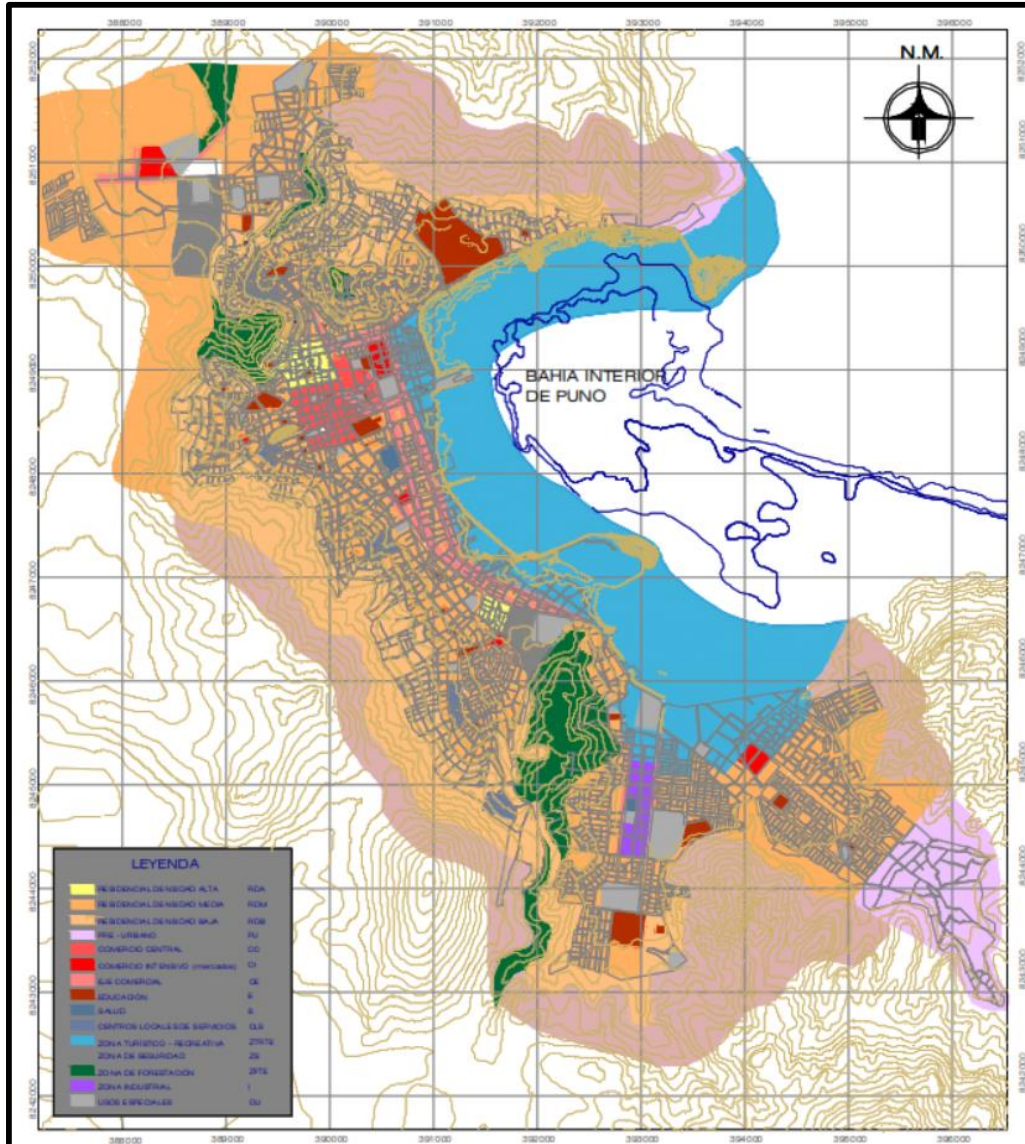
<b>Tipo</b>	<b>Clima</b>	<b>Dotación (l/hab/día)</b>
Sistemas con conexiones domiciliarias.	Frío	180
	Templado o cálido	220
Programas de vivienda con lotes de área menor o igual a 90 m <sup>2</sup> .	Frío	120
	Templado o cálido	150
Sistemas de abastecimiento indirecto por surtidores para camión cisterna o piletas públicas.	Frío	30 y 50
	Templado o cálido	30 y 50
Habilitaciones tipo industrial.	Frío Templado o cálido	Debe determinarse de acuerdo con el uso en el proceso industrial debidamente sustentado.
Habilitaciones tipo comercial.	Frío Templado o cálido	Se aplicará la norma IS.010.

*Fuente: RNE – Norma OS.100*

Para nuestro análisis consideraremos: Sistemas con conexiones domiciliarias, Clima frío con dotación de 180 l/hab/día.

**Nota:** Se considera conveniente tomar los valores límites superiores teniéndolos así en cuenta como incluyera su factor de seguridad (Os - 100 Consideraciones Básicas De Diseño De Infraestructura Sanitaria, 2006).

Figura 8. Uso de suelo de la ciudad



Fuente: MPP

➤ **Consumo**

El consumo doméstico, se establece un consumo según área geográfica, en este caso Sierra – Clima Frío con datación máxima de 180 l/hab/día. Estableceremos el consumo medio diario.

$$Q_{med} = P \times D / 86400$$

Tabla 15. Consumo doméstico de la Ciudad de Puno

Año	Población	Qmed (l/s)
2050	169,170	352.44

Fuente: Elaborado por el autor

El consumo público, se establece un consumo según los datos de la Norma de Instalaciones Sanitarias, donde se da una estimación de dotación por tipo de uso, utilizaremos un factor de crecimiento acorde al incremento poblacional. Al igual que para hallar el consumo doméstico utilizaremos la misma fórmula.

$$Q_{med} = P \times D / 86400$$

Tabla 16. Consumo público de la Ciudad de Puno

Uso	Cantidad	Unidad	RNE	Qmed (l/s)
Comercio	5,624	habitante	6 l/hab/día	0.39
Recreación	758,700	m <sup>2</sup>	2 l/m <sup>2</sup> /día	17.56
Salud	445	cama	800 l/cama/día	4.12
Educación inicial primaria	36,422	alumnos	20 l/alum/día	7.59
Educación Secundaria Superior	27,129	alumnos	25 l/alum/día	7.07
Administración	1,771	habitante	20 l/hab/día	0.41
<b>TOTAL</b>				<b>37.14</b>

Fuente: Elaborado por el autor

➤ **Caudal de diseño**

- Caudal medio

$$Q_{med} = Q_{domestico} + Q_{público}$$

$$Q_{med} = 352.44 + 37.14 \quad \text{l/s}$$

$$Q_{med} = 389.58 \quad \text{l/s}$$

- Caudal de la dotación per cápita

$$Q_{per \text{ cápita}} = Q_{med} / Población$$

$$Q_{per} = 389.58 / 169,170 \quad \text{l/s}$$

$$Q_{per} = 0.0023 \quad \text{l/s}$$

- Caudal máximo diario

$$Q_{md} = CVd * Q_{med}$$

$$Q_{md} = 1.5 * 385.19 \quad \text{l/s}$$

$$Q_{md} = 584.37 \quad \text{l/s}$$

- Caudal máximo horario

$$Q_{mh} = CVh * Q_{med}$$

$$Q_{mh} = 2.0 * 385.19 \quad \text{l/s}$$

$$Q_{mh} = 779.16 \quad \text{l/s}$$

NOTA: En ambos casos se tomó el coeficiente superior para tener un margen de seguridad alto.

Tabla 17. Consumo público de la Ciudad de Puno

AÑO	POBLACIÓN	Qp (LT/DÍA)	Q doméstico	Q público	Qmed	Qmd	Qmh
2017	135288	24351840	281.85	25.60	307.45	461.18	614.90
2020	142295	25613188	296.45	27.46	323.91	485.87	647.82
2025	148473	26725211	309.32	29.23	338.55	507.83	677.10
2030	154070	27732564	320.98	30.94	351.92	527.88	703.84
2035	158921	28605737	331.08	32.55	363.63	545.45	727.26
2040	162862	29315233	339.30	34.03	373.33	560.00	746.66
2045	165986	29877547	345.80	35.37	381.17	571.76	762.34
2050	169170	30450648	352.44	37.14	389.58	584.37	779.16

Fuente: Elaborado por el autor

**Los resultados del objetivo 2** se basan en la relación entre sistema de abastecimiento de suministro de agua potable y el consumo de agua para la población, en este punto se evaluó el sistema actual, su funcionamiento y mantenimiento dando inicio establecer los puntos críticos y no tan críticos que se necesitarán para satisfacer el consumo de la ciudad. La propuesta de mejora de los componentes se basa principalmente en la implementación de nuevas tecnologías, mejoras en la infraestructura y la optimización de sus recursos.

Tabla 18. Cuadro de resultados en el mejoramiento de la infraestructura

<b>Sistema de abastecimiento</b>	<b>2020</b>	<b>Und.</b>	<b>Mejoramiento</b>	<b>Construcción</b>	<b>Und.</b>
Captaciones	3	und	2	2	und
Reservorios	18	und	17	3	und
Líneas de distribución	190.87	kl	19.12	249.88 km	km
Conexiones domiciliarias	42 067	und	10 470 x año	7 945	und

*Fuente: Elaborado por el autor*

Para establecer la relación ya mencionada empezaremos con la evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable existente en la ciudad y estableceremos el mejoramiento de este sistema para el año 2050.

Según se observó el suministro de abastecimiento agua potable actual tiene bastantes desafíos por superar como son la calidad, la capacidad de distribución por la topografía, el crecimiento de la ciudad, capacidad de reservorios, tiempo de suministro, déficit del bombeo, válvulas de regulación, falta de información actualizada, deterioro de estructuras, instalaciones antiguas, perdidas por conexiones ilegales y rotura en las tuberías de la red de distribución. Como consecuencia a estos enormes puntos críticos se propondrá una mejora considerable al servicio, mismo que se encargará de satisfacer a la población en cantidad y calidad a un precio justo y accesible, para ello no sólo será propone el incremento de infraestructura, sino que se debe tener en cuenta además a la gestión de recursos humanos de la empresa prestadora para mejorar su planificación y manejo del servicio. De esta manera se considera que la empresa prestadora del servicio debe de rediseñarse en aspectos administrativos y encaminar sus esfuerzos a mejorar sus puntos débiles como institución.

Para la evaluación de la condición actual del sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Puno empezaremos analizando sus componentes: tres (03) captaciones, una Planta de tratamiento en Aziruni compuesta por dos (02) módulos de tratamiento de agua, Sistema de bombeo y rebombeo, diecisiete (17) Reservorios de almacenamiento, Redes de Distribución y conexiones domiciliarias distribuidas en 17 sectores y un sub sector.

Tabla 19. Sistema de abastecimiento de agua potable existente

Tipo	Cantidad
Captaciones	3
Planta de tratamiento	1
Reservorios	17
Conexiones activas	38,349

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

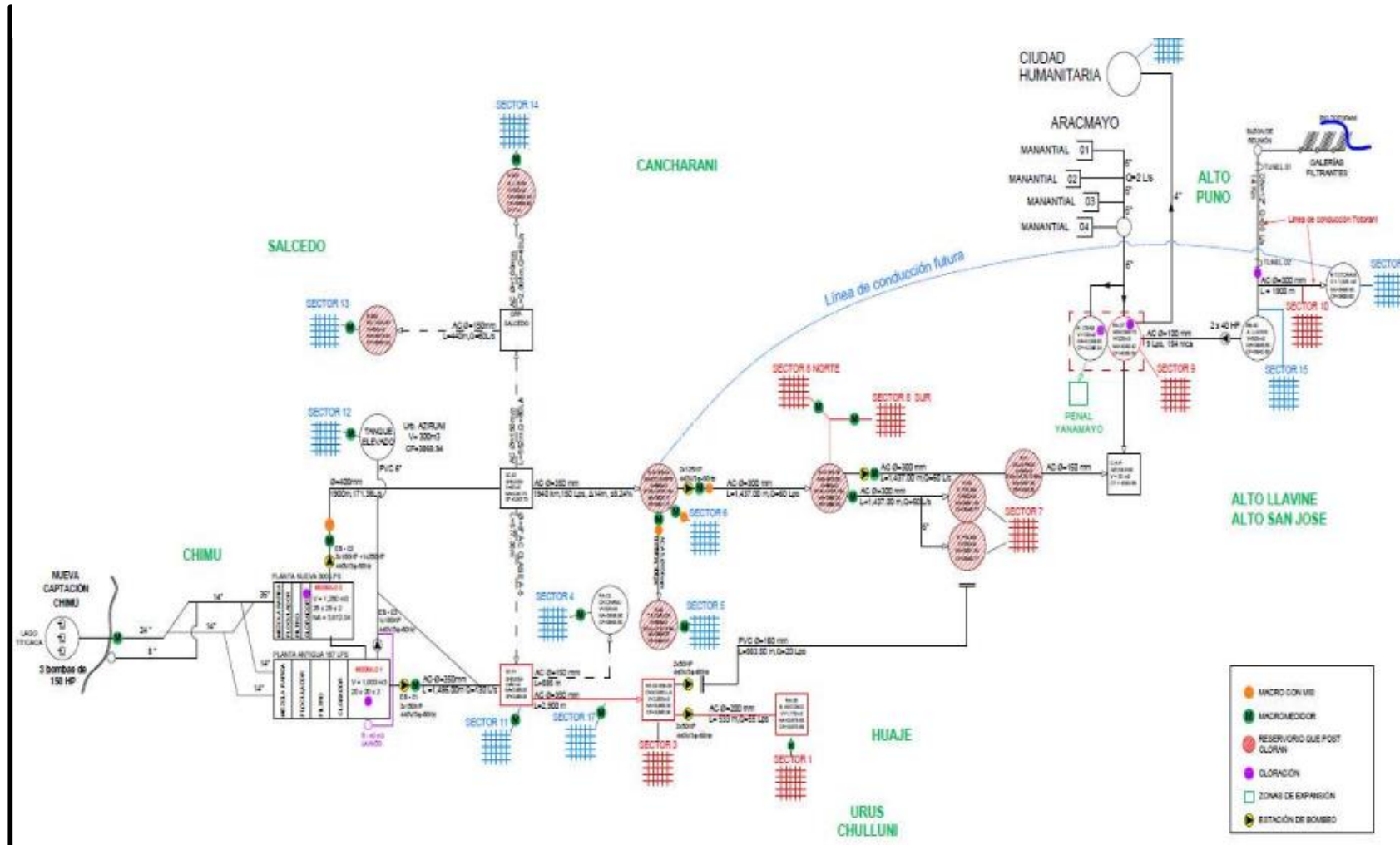
Figura 9. Configuración del sistema de abastecimiento de agua potable - Puno



*Fuente: Elaborado por el autor*



Figura 10. Esquema del sistema de abastecimiento de agua potable - Puno



Fuente: SUNASS

➤ **Fuentes de captación de agua.**

En la ciudad de Puno se tiene un abastecimiento ya existente que explota principalmente tres captaciones de agua; estas son provenientes del Lago Titicaca, del Rio Totorani y por último del río Aracmayo.

La primera captación o sistema del Lago Titicaca está compuesto principalmente por la captación y el bombeo de agua llamado “Captación Chimu”, esta captación cuenta con 273 l/s de capacidad nominal, un sistema de bombeo y con un volumen de reserva que suma cerca de 10,915 m<sup>3</sup>, que posteriormente se distribuyen a los reservorios de la Ciudad.

La segunda captación o sistema Totorani está compuesta por una serie de galerías, cuenta con 30 l/s de capacidad media, adjuntada a una línea de conducción por gravedad, con un sistema interno de desinfección, conducción y un reservorio con capacidad de 1,325 m<sup>3</sup>, a partir de este se hace la distribución de las zonas altas de la ciudad.

La tercera captación o sistema Aracmayo se encarga de proveer el agua potable a un reducido sector, este capta las vertientes del río Aracmayo con una capacidad media de 3 l/s. los que después de pasar por un proceso de desinfección son distribuidos desde su reservorio con capacidad de 225 m<sup>3</sup> por gravedad.

La Captación de Agua “Chimu” Antigua y Nueva se encuentran ubicadas en la localidad de Chimu, Provincia de Puno, Departamento de Puno, con una altitud de 3830 m.s.n.m., a la cual se puede acceder desde la Ciudad de Puno a una distancia de poco más de 2km. por medio de la carretera Panamericana cuyo viaje dura aproximadamente 15 minutos.

Esta captación se encarga de captar agua para el consumo desde el Lago Titicaca, misma que se encuentra dentro de los “Estándares de calidad Ambiental para Agua” dentro del Artículo 3 del D.S. N° 004-2017-MINAN en la categoría I: Población y recreacional, Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, Subcategoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

La captación Chimu Antigua consta de dos tomas de succión de 16 plg de diámetro de acero naval con una longitud de 438 m, con una canastilla metálica de retención empotrada. Estas líneas tienen la capacidad hidráulica de 150 l/s cada una.

Esta captación presenta una deficiencia crítica, pues siendo que el nivel mínimo del Lago Titicaca puede bajar hasta 3804.75 m.s.n.m. se tiene una la canastilla de succión a 3808.14 m.s.n.m. produciendo así una cavitación que implica problemas operativos, interrupción del servicio e incremento de costos de mantenimiento durante los periodos bajos.

En esta captación existen tres equipos de bombeo, y constan de una bomba centrífuga helicoidal y Tablero de Mando, de 125 HP de potencia cada una están instaladas en dentro de una cabina de concreto armado tipo CAISSON, estas se encargan de impulsan el agua hacia la planta de tratamiento de la ciudad de Puno (Aziruni) a través de una tubería de 14 plg de diámetro con una longitud de tubería de 4020 m.

La Captación Chimu Nueva se construyó en el año 2012, con el proyecto "Rehabilitación del sistema de abastecimiento de agua potable", esta captación tiene un acceso de 260 m de longitud en total dividido en dos etapas, la prima con 220 m por 10 m de ancho hecho con material granular hasta la segunda etapa constituida de un enrocado de 40 m de largo por 8 m de ancho, a ambos lados del terraplén se encuentran gaviones de 100 m que sirven de protección.

Existe una losa de cimentación de concreto armado de 10m x 10m sobrepuesta a un empedrado con piedras de canto rodado de 6 plg donde se encuentra una caseta metálica de 6,10 m x 7,10 m y una altura de 4,73 m, con una cobertura de policarbonato de 8mm que sirve como cobertura, además se ubica la estructura de succión compuesta por dos tuberías de F° de 16 plg de diámetro con 426 y 438 m de línea respectivamente, ambas con una capacidad hidráulica de 150 l/s succionado con tres equipos de bombeo de agua. Estas dos tuberías se están ubicadas en el borde de la captación donde se ubican canastillas metálicas que sirven de retención de sólidos.

Además, esta captación cuenta con tres equipos de tableros de mando y control, una de las principales características de estos equipos es de contar con variadores

de frecuencia VFD (Variable Frequency Drive), que permite la variación de velocidad de la electrobomba, y a sí mismo variar el caudal de operación si es requerido por la planta de tratamiento por medio de un Tablero General de Distribución.

Equipos y accesorios de Protección: conformado por un pararrayos ionizante para resguardo ante descargas eléctricas y puestas a tierra para protección de los equipos con que se cuenta.

Tabla 20. Fuente de captación Chimú.

<b>Superficial (Lago Titicaca) – Con Bombeo</b>			
<b>Captación</b>	<b>Líneas de captación</b>	<b>l/s</b>	<b>Total</b>
Chimu Antigua	03	150	450
Chimu Nueva	03	160	480

*Fuente: Elaborado por el autor*

Tabla 21. Diagnóstico de la captación Chimú Antigua y Nueva

<b>TIPO</b>	<b>DIAGNÓSTICO</b>				
	<b>Muy malo</b>	<b>Malo</b>	<b>Regular</b>	<b>Bueno</b>	<b>Muy bueno</b>
<b>Captación Chimú Antigua</b>					
Infraestructura		x			
Operación			x		
Mantenimiento		x			
<b>Captación Chimú Nueva</b>					
Infraestructura				x	
Operación					x
Mantenimiento				x	

*Fuente: Elaborado por el autor*

La captación de Agua “Totorani” es una captación de agua superficial, que proviene del río Totorani ubicado en Totorani Grande (Parte alta), y se encuentra a una altitud de 3947 m.s.n.m., esta captación cuenta con un caudal aforado de 98 l/s, se puede acceder por medio de la vía asfaltada Puno – Tiquillaca a una distancia aproximada de 3km a 25 minutos.

La calidad del agua al igual que la captación Chimu cumple con el Artículo 3 del D.S. N°004-2014-MINAN, en la Categoría I: Población y recreacional en la Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

Esta captación es la más antigua en la ciudad de Puno, pues fue construida en el 1940, está diseñada con un sistema de galerías filtrantes, estas reúnen las aguas subterráneas y son filtradas por grava seleccionada y llevada por tuberías cribadas de PVC de 250 mm (10 plg), estas tuberías llegan a un buzón de inspección y luego a una caja de reunión de forma regular dividida por dentro con una pantalla originando cámaras separadas (02 und) que permiten su mantenimiento, en el trayecto es alimentada por manantiales, a continuación el agua que se capta atraviesa una cámara para interconectarse con una tubería de PVC de 300 mm (12 plg), llegando a una nueva cámara de reunión con una forma circular, de esta nace la línea de conducción que tienen una longitud de 14 mil metros de A-Cem con un DN 300 mm (12 plg) y una de concreto armado de DN 300 mm (12 plg), en esta línea de conducción encontramos una válvula de purga de aire y también de purga de agua en las zonas bajas, en este recorrido existen 2 túneles que llegan a la estación de bombeo existente llamada “Estación de Bombeo EB 30” que se encuentra localizada dentro del Barrio San José. Contempla una producción media de 30 l/s en su sistema por gravedad.

Esta estación cuenta con una cámara de desinfección, una cámara donde se dosifica cloro gaseoso en dos puntos de cloración, la primera ubicada en la llegada del agua y la segunda se encuentra en el punto de cloración ambas ubicadas dentro del reservorio, este sistema emplea una cloración de reforzamiento en todo el proceso (clorador de inyección al vacío), desde Reservorio llamado RA-06 de Totorani con un volumen de 1 100 m<sup>3</sup>, este reservorio es el punto inicial de la distribución con un caudal promedio de 15 a 20 l/s cuando es temporada de lluvia y de 5 a 8 l/s en estiaje hídrico.

Tabla 22. Fuente de captación Totorani

<b>Captación</b>	<b>Galerías Filtrantes</b>	<b>l/s</b>	<b>Total l/s</b>
Totorani	01	30	30

*Fuente: Elaborado por el autor*

Tabla 23. Diagnóstico de la captación Totorani

<b>TIPO</b>	<b>DIAGNÓSTICO</b>				
	<b>Muy malo</b>	<b>Malo</b>	<b>Regular</b>	<b>Bueno</b>	<b>Muy bueno</b>
<b>Captación Totorani</b>					
Infraestructura		x			
Operación				x	
Mantenimiento			x		

*Fuente: Elaborado por el autor*

La Captación de Agua “Aracmayo” está formada por cuatro pequeñas estructuras sobre manantiales superficiales con una forma de bocaminas, se encuentra ubicada en el cerro Aracmayo fuera de la ciudad de Puno tiene una altitud de 4069 m.s.n.m., a esta captación se puede acceder por la vía Puno – Tiquillaca con una distancia de 2km aproximadamente y un viaje de 15 min de duración.

La calidad de agua para esta captación también cumple con el Artículo 3 del D.S. N°004-2014-MINAN, en la Categoría I: Población y recreacional en la Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

Las captaciones de Aracmayo están actualmente selladas con infraestructuras de concreto para reducir la contaminación, en esta captación el agua se capta de forma ramificada y paralela a través de una tubería de 150 mm (6 plg), estas alimentan se encargan de alimentar la línea de captación, misma que conduce el agua cruda hasta un buzón de reunión, es en este punto donde inicia la línea de conducción de 150 mm (6 plg) contempla un rendimiento medio de 6 l/s en temporada de lluvia y de 2,5 a 3 l/s en estiaje.

Esta captación utiliza un tratamiento de desinfección con insumo de Hipoclorito de calcio al 65% de cloro activo libre, con dosificaciones que varían entre 0.80 a 1.00

mg/l de cloro residual libre. Esta captación usa como almacenamiento a dos reservorios, el primero tiene una capacidad de 225 m<sup>2</sup> y el segundo de 125 m<sup>2</sup>, este último está destinado únicamente a alimentar al Penal de Yanamayo, estos reservorios tienen su propio sistema de desinfección con cloro gas para el tratamiento del agua que posteriormente es distribuida por gravedad a la población.

Tabla 24. Fuente de captación Aracmayo

<b>Captación</b>	<b>Manantial</b>	<b>l/s</b>	<b>Total l/s</b>
Aracmayo	01	3	3

*Fuente: Elaborado por el autor*

Tabla 25. Diagnóstico de la captación Aracmayo

<b>TIPO</b>	<b>DIAGNÓSTICO</b>				
	<b>Muy malo</b>	<b>Malo</b>	<b>Regular</b>	<b>Bueno</b>	<b>Muy bueno</b>
<b>Captación Aracmayo</b>					
Infraestructura		x			
Operación			x		
Mantenimiento			x		

*Fuente: Elaborado por el autor*

Tabla 26. Rendimiento total de Captaciones de la ciudad

<b>Captación</b>	<b>Unidades</b>	<b>l/s</b>	<b>Total l/s</b>
Chimu Antigua	03	150	450
Chimu Nueva	03	160	480
Totorani	01	30	30
Aracmayo	01	3	3

*Fuente: Elaborado por el autor*

Figura 11. Localización de las captaciones existentes



Fuente: Elaborado por el autor

➤ **Línea de impulsión Chimu – Planta de tratamiento Aziruni**

Desde la captación existen dos líneas llamadas, líneas de impulsión ubicadas al termino de la caseta de bombeo, de 14 plg y 16 plg respectivamente, ambas de 4,020 metros de longitud empalmada a una tubería de HFD DN 600 mm (24 plg) de 258 metros de longitud y 10.00 m.c.a. de altura dinámica con 150 l/s de capacidad aproximadamente para cada una de estas líneas.

Tabla 27. Diagnóstico de la línea de impulsión Chimu

TIPO	DIAGNÓSTICO				
	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
Infraestructura				X	
Operación				X	
Mantenimiento			X		

Fuente: Elaborado por el autor



➤ **Líneas de conducción del agua captada – agua cruda.**

Al igual que las fuentes, las líneas están constituido por tres (03) sistemas de conducción del agua captada Aziruni, Totorani y Aracmayo, todas estas actúan por gravedad y se conforman por:

La línea de conducción Captación Chimu conformada después de la estación de bombeo por la que el agua cruda es impulsada hasta llegar a la planta de Tratamiento Aziruni llega con un caudal de bombeo de 278 l/s aproximadamente y 36 m.c.a, se transporta el agua captada a través de dos líneas de impulsión con un DN 350 mm y 3,963 m de longitud cada una de estas.

La línea de conducción Captación Totorani está conformada de una línea de conducción de 14,640 m, de A-Cem con un DN 300 mm de diámetro para luego almacenarse mediante gravedad en el reservorio RA-06.

La línea de conducción Captación Aracmayo consta de una línea de conducción de 2,750 m, también de asbesto-cemento con un DN 160 mm de diámetro para luego almacenarse mediante gravedad en el reservorio RA-07.

Tabla 28. Diagnóstico de la línea de conducción

TIPO	DIAGNÓSTICO				
	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
Línea de conducción captación Chimu					
Infraestructura				x	
Operación				x	
Mantenimiento				x	
Línea de conducción captación Totorani					
Infraestructura			x		
Operación			x		
Mantenimiento		x			
Línea de conducción captación Aracmayo					
Infraestructura			x		
Operación			x		
Mantenimiento		x			

*Fuente: Elaborado por el autor*

## ➤ **Planta de tratamiento de Aziruni**

La empresa prestadora del servicio de agua potable en la ciudad de Puno cuenta con una planta de tratamiento llamada “Planta Aziruni”, la cual posee dos (02) módulos de tratamiento para agua potable (consumo humano), estos son el Módulo I y Módulo II, con una máxima capacidad de agua de 150 l/s y 300 l/s respectivamente, cada módulo tiene su propio almacenamiento y estación de bombeo.

El tratamiento de Agua “Módulo I” que fue construido entre los años 1974 – 1975, diseñado principalmente para el tratamiento de aguas subterráneas que en un principio eran captadas por medio de pozos profundos, donde la calidad de agua es de alta dureza; este módulo cuenta con Unidades de Tratamiento como son: 01 cascada de aireación, 02 sedimentadores convencionales, 03 filtros rápidos de 9m<sup>2</sup> y una cámara de desinfección.

Ya para el año 2012 se rediseñó esta planta con el proyecto “Mantenimiento de la Infraestructura Sanitaria” a cargo del Ministerio de Vivienda y Saneamiento del Perú, donde se incrementó la capacidad de tratamiento que llega a 150 l/s, este módulo cuenta con: un (01) aireador tipo cascada, cuatro (04) unidades de floculación mecánica lenta, cuatro (04) unidades de floculación mecánica rápida, cuatro (04) unidades de sedimentación, tres (03) unidades de filtración, un (01) cisterna de almacenamiento y una (01) estación de bombeo, este módulo trata sólo una parte del agua cruda.

El Aireador Tipo Cascada desempeña funciones de tratamiento hidráulico de carácter físico, este tratamiento pone el agua en contacto con el aire, todo esto con el fin fundamental de reducir las sustancias volátiles concentradas.

Los Floculadores mecánicos también fueron modificadas en el proyecto “antes mencionado, modificando la estructura existente para la instalación de 08 unidades de floculadores mecánicos, cuatro (04) de floculación rápida (300 rpm) y cuatro (04) de floculación lenta (70-100 rpm), con motores de 1 HP y motorreductores acoplados a un tablero de mando y control.

Los sedimentadores entran en funcionamiento después de que el agua está floculada y pasa verticalmente a través de una tubería PVC DN 400 mm (16 plg)

cribada en la base de las unidades de floculación, el agua asciende desde la parte baja del sedimentador y es recogida por tuberías también cribadas de 150 mm (6 plg) hasta el canal intermedio de recolección donde el agua clarificada es llevada hasta las unidades de filtración del módulo.

Cada una de las unidades de sedimentación de 37.5 l/s de capacidad máxima de agua tratada, juntando las cuatro (04) unidades sumamos un máximo total de 150 l/s, en estas unidades de sedimentadores se separan los flóculos, tierra, partículas suspendidas, etc., a fin de impedir un taponamiento en las unidades de filtración y evitar sobrecargas en las siguientes etapas de tratamiento.

Los filtros rápidos que se encuentran en el módulo I está compuesto por tres (03) unidades de filtración rápida que es parte de la etapa final de filtración, esta consta de un área de filtrado de 27 m<sup>2</sup> en su totalidad, cada uno de estos con 9m<sup>2</sup>, que se llegaron a cambiar en el proyecto “Mantenimiento de la Infraestructura Sanitaria” del año 2012, esta cuenta con un lecho de soporte con grava de canto rodado, la primera capa posee una altura de 12,5 cm, con tres (03) capas subsiguientes de 7,5 cm de altura, la quinta capa es el lecho filtrante de 65 cm de altura y por último la sexta capa de arena tipo Cuarzo Sílice de tamaño efectivo 0,9 mm a 1,10 mm con un coeficiente de uniformidad < 1,5, detallado en la tabla 29 presentada a continuación:

Tabla 29. Características del lecho de soporte y lecho filtrante

<b>Lecho de soporte</b>	<b>Espesor (cm)</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>Tamaño (plg)</b>
1° Capa (Grava – Canto Rodado)	12,5	31,75 – 25,40	1 ¼ - 1
2° Capa (Grava – Canto Rodado)	7,5	25,40 – 15,90	1 – 5/8
3° Capa (Grava – Canto Rodado)	7,5	15,90 – 9,50	5/8 – 3/8
4° Capa (Grava – Canto Rodado)	7,5	9,50 – 4,80	3/8 – 3/16
<b>Lecho Filtrante</b>	<b>(cm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(plg)</b>
1° Cuarzo Sílice	65	0,9 – 1,10	

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

En la filtración durante el lavado de las unidades se utiliza un tanque elevado de 40 m<sup>2</sup> que vierte el agua de su contenido a estas en sentido ascendente, finalmente el agua es evacuada hacia el sistema de alcantarillado.

Para controlar las unidades este módulo se compone de una galería de control y una galería de tuberías. Existen dos cloradores de 500 lb/24h y 150 lb/24h cada uno donde el agua es filtrada y desinfectada.

Para el almacenamiento tenemos al agua que luego de ser filtrada por las tres (03) unidades es conducida mediante tuberías de 250 mm (10 plg) hasta una cisterna de almacenamiento subterránea con una capacidad de 1000 m<sup>3</sup>, el agua antes de ingresar es dosificada por un desinfectante cloro gas por medio de difusores dándoles tiempo de contacto de 5 minutos, finalmente el agua potabilizada es impulsada por un equipo de bombeo de tipo Turbina vertical hacia las cámaras de cargas I de la planta donde se determina el control de calidad por medio de ciertos parámetros como son físicos, químicos y microbiológicos contemplados en las normas de calidad nacional e internacional y monitoreado por el área de control de calidad de la empresa prestadora del servicio, una vez obtenida el agua es distribuida a los reservorios R - Chanu Chanu con capacidad de 320 m<sup>3</sup>, R – Chacarilla con capacidad de 2500 m<sup>3</sup> y redes de distribución derivadas de la línea de conducción.

El tratamiento de agua “Módulo II” es convencional, con una infraestructura construida durante los años 1996 – 1998, operando desde el 1999 está compuesta de un (01) canal de ingreso tipo Parshall y de un (01) floculador vertical hidráulico, siete (07) filtros rápidos y una (01) cámara de desinfección con un caudal de diseño de 300 l/s en la planta.

Este módulo cuenta con un canal de ingreso Tipo Parshall, la unidad hidráulica es concreto armado, instalado en el segundo piso del edificio en la sala química, agua cruda ingresa desde la captación Chimú y atraviesa esta unidad hasta la sección divergente creándose un resalto hidráulico, aprovechándose para la mezcla rápida y homogénea entre los insumos químicos y el agua cruda, los mismos serán dosificados mediante la tubería cribada de PVC de 25 mm (1 plg) que está instalada en el medio de la garganta de canal Parshall, en este módulo no se registra el

caudal de ingreso, pues se toma el registro en la salida de la captación Chimú por medio de un medidor ultrasónico en la línea de impulsión (SCH – 40).

El floculador vertical hidráulico en el módulo II está hecho de concreto armado, esta cuenta de 12 tramos verticales o celdas de floculación, cada tramo se encuentra dividido con pantallas de concreto de un espesor de 10,5 cm, la función principal de estas son de realizar una lenta mezcla que produce la aglomeración y formación de flóculos de tamaño y peso específico para su sedimentación en las unidades de filtración, esta retención es de 12 minutos aproximadamente.

Los filtros rápidos en el Módulo II podemos contarlos como siete (07) unidades de filtración rápida de forma descendente y con una tasa declinante, estas unidades fueron cambiadas en toda su integridad durante el proyecto “Mantenimiento de la Infraestructura Sanitaria” del año 2012, estas funcionan con una velocidad de operación de 149 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día, cada uno de estos cuenta con un área filtrante de 24 m<sup>2</sup>, también cuenta con un sistema de lavado con aire, expansión de lecho filtrante, con un capacidad de 300 l/s de agua tratada.

El lecho filtrante de estas unidades está compuesto de arena cuarzo sílice de un tamaño efectivo de 0,9 mm a 10,0 mm con una altura de 65 cm y con un coeficiente de uniformidad de <1,5, el lecho de soporte está constituido de ocho (08) capas, cada una de estas cuenta con una altura de 10 cm, y en la parte baja del filtro se encuentran viguetas triangulares con toberas de filtro con ranuras verticales de 2mm x 22 mm de altura, en esta superficie se encuentran las tuberías difusoras de aire DN 110 mm (4 plg) de PVC; cada una de estas tuberías tiene 6 líneas, a la vez en cada línea tiene perforaciones cada 5 cm en forma lineal contando un total de 110 perforaciones por cada línea que hacen un total de 660 perforaciones en sus seis (06) líneas, en cada filtro a su vez se instalaron 12 tuberías por consiguiente tenemos que existen 7 920 perforaciones para aireación en total, las características del lecho de soporte y lecho filtrante se encuentran en la tabla 30 presentada a continuación:

Tabla 30. Características del lecho de soporte y lecho filtrante

<b>Lecho de soporte</b>	<b>Espesor (cm)</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>Tamaño (plg)</b>
1° Capa (Grava – Canto Rodado)	10,0	50,8 – 38,10	2 – 1 ½
2° Capa (Grava – Canto Rodado)	10,0	38,10 – 31,75	1 ½ - 1 ¼
3° Capa (Grava – Canto Rodado)	10,0	31,75 – 25,40	1 ¼ - 1
4° Capa (Grava – Canto Rodado)	10,0	25,40 – 19,05	1 – ¾
5° Capa (Grava – Canto Rodado)	10,0	19,05 – 12,70	¾ – ½
6° Capa (Grava – Canto Rodado)	10,0	12,70 – 6,35	½ – ¼
7° Capa (Grava – Canto Rodado)	10,0	6,35 – 3,18	¼ - 1/8
8° Capa (Grava – Canto Rodado)	10,0	3,18 – 1,59	1/8 – 1/16
<b>Lecho Filtrante</b>	<b>(cm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(plg)</b>
1° Cuarzo Sílice	70	0,9 – 1,10	

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

Dentro de la cámara de desinfección o de contacto del módulo II encontramos una cámara de desinfección de cloro con flujo horizontal, de concreto armado ubicado a la salida de agua de la proveniente de los filtros, en esta cámara entra el agua filtrada mezclándose dentro con el cloro gaseoso proveniente de la sala de cloración, así se eliminan por completo los organismos bacterianos asegurando la inocuidad en la calidad microbiológica del agua potable. El agua saliendo de esta unidad se topa con la toma de muestra, en este punto existe un personal encargado de realizar el control de calidad con el muestreo correspondiente. Posteriormente el agua potable es almacenada en las dos cisternas existentes de 1 000 m<sup>3</sup> y 1 250 m<sup>3</sup> respectivamente.

El almacenamiento en la planta Aziruni se realiza a través de dos (02) cisternas de concreto armado, la primera con una capacidad de 1 000 m<sup>3</sup> y la segunda de 1 250 m<sup>3</sup> de almacenamiento. Sobre cada una encontramos las estaciones de bombeo I, II y III, desde estas tres estaciones se efectúa la impulsión del agua potable hasta las cámaras rompe presión para después distribuirla a los reservorios para su posterior distribución a la ciudad de Puno.

En las estaciones de bombeo del Módulo I Aziruni se encuentra una caseta de bombeo de albañilería reforzada en las paredes, columnas y vigas, con una

dimensión de 5,50 m x 13,90 m con una altura de 4,90 m, la cobertura es de losa maciza, el piso es de cemento pulido y se tienen un pozo de succión de concreto armado de 1,50 m x 6.40 m a una profundidad de 4,60 m sobre el cual se instalaron cuatro (04) equipos de bombeo compuestos por un motor y bomba de turbina vertical, estos equipos tienen una operación de 24 horas con dos (02) electrobombas alternándose cada 12 horas, su caudal de bombeo posee una variación de 290 l/s a 310 l/s que es modificable por operación del variador de frecuencia instalado en el tablero de mando y control, este caudal es bombeado de acuerdo a la demanda de reservorios antes de su distribución, sin embargo si existiese un corte del servicio eléctrico se procura realizar un bombeo de apoyo hacia la cámara de carga I “Chejoña”.

Estos equipos de bombeo cuentan con sus accesorios hidráulicos luego de su línea de impulsión de 250 mm (10 plg) que empalman a la línea general de impulsión, esta línea cuenta con un medidor de caudal electrónico y un manómetro digital, en la siguiente tabla 31 se detallan las especificaciones técnicas.

Tabla 31. Esp. técnicas de equipos en la estación de bombeo módulo I

DESCRIPCION	ESPECIFICACION	EQUIPO N°01	EQUIPO N°02	EQUIPO N°03	ESTADO	OBS.
Bomba tipo	Tipo	VTP	VTP	VTP	Operativo	Se opera con un intervalo entre las dos bombas, con turnos de 12 horas y con un caudal promedio de 150 l/s
Turbina	Caudal	110 l/s	110 l/s	110 l/s		
Vertical	ADT	85 mca	85 mca	85 mca		
Motor	Potencia	150 HP	150 HP	150 HP	Operativo	
Tablero de Mando y Control	Potencia	150 HP	150 HP	150 HP	Operativo	

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

La estación de bombeo – Módulo II está construida de albañilería reforzada en las paredes, columnas y vigas, con un dimensión de 1,50 m x 1,50 m y con una altura de 4,00 m, su cobertura es de losa maciza con piso de cemento pulido donde se encuentra un pozo de succión de concreto armado con un profundidad de 6,80 m, sobre la que al igual que en el módulo I se encuentran cuatro (04) equipos de bombeo compuestos por un motor y una bomba de tipo turbina vertical, estas bombas operan las 24 horas de forma alternada entre las dos electrobombas a turnos de 12 horas, su caudal de bombeo es de 290 l/s a 310 l/s, modificable por el

variador de frecuencia según la demanda de los reservorios de almacenamiento, y si existiese algún corte de energía eléctrica esta estación no cuenta con un equipo de apoyo por lo cual esta estación queda obsoleta. Es en esta estación que el agua potable se carga a la cámara de carga número dos también llamada “Huayna Pucara”.

Todos los equipos de bombeo cuentan con sus accesorios hidráulicos correspondientes a la salida de su línea de impulsión de 250 mm (10 plg), que empalman a una línea general de impulsión, la cual cuenta con un medidor de caudal electrónico y un manómetro digital, las especificaciones técnicas se muestran en la tabla 32 presentada a continuación:

Tabla 32. Esp. técnicas de equipos en la estación de bombeo módulo II

DESCRIPCION	ESPECIFICACIONES	EQUIPO N°01	EQUIPO N°02	EQUIPO N°03	EQUIPO N°04	ESTADO	OBS.
Bomba tipo Turbina Vertical	Tipo Caudal ADT	VTP 110 l/s 133 mca	VTP 110 l/s 133 mca	VTP 110 l/s 133 mca	VTP 110 l/s 133 mca	Operativo	Se opera con un intervalo entre las dos bombas, con turnos de 12 horas y con un caudal promedio de 171 l/s
Motor	Potencia	180 HP	180 HP	180 HP	180 HP	Operativo	
Tablero de Mando y Control	Potencia	180 HP	180 HP	180 HP	180 HP	Operativo	

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

La estación de bombeo – módulo III está construida por albañilería reforzada en paredes, columnas y vigas, con una dimensión de 5,50 m x 13,90 m y con una altura de 4,90 m, tiene una cobertura de losa maciza y un piso de cemento pulido donde existe un pozo de succión de concreto armado con una dimensión de 1,50 m x 6,40 m con una altura de 4,60 m, sobre la cual se instalaron cuatro (04) equipos de bombeo con un motor y bomba tipo turbina vertical, estas bombas alternan su operación entre dos electrobombas de 12 horas cada una, y poseen un caudal de bombeo de 70 l/s a 90 l/s por el variador de frecuencia instalado en el tablero de mando y control, cuyo caudal se calcula de acuerdo a la demanda de los reservorios de almacenamiento, y si existiese el corte de servicio eléctrico esta estación no podrá entrar en funcionamiento pues no existe un equipo de grupo electrógeno de apoyo.



La estación de bombeo III es la que provee directamente al Reservorio de Almacenamiento “Jayllihuaya” para su posterior distribución a la población. Cada uno de estos equipos posee sus accesorios hidráulicos a la salida de su línea de impulsión, la cual es de 250 mm (10 plg), la misma que empalma a la línea general de impulsión que posee un medidor de caudal electrónico y un manómetro digital, posteriormente se encuentran los accesorios hidráulicos que acompañan el correo bombeo, en la siguiente tabla 33 podemos apreciar las especificaciones técnicas.

Tabla 33. Esp. técnicas de equipos en la estación de bombeo módulo III

DESCRIPCION	ESPECIFICACIONES	EQUIPO N°01	EQUIPO N°02	EQUIPO N°03	EQUIPO N°04	ESTADO	OBS.
Bomba tipo Turbina Vertical	Tipo Caudal ADT	VTP 90 l/s 100 mca	VTP 90 l/s 100 mca	VTP 90 l/s 100 mca	VTP 90 l/s 100 mca	Operativo	Se opera con un intervalo entre las dos bombas, con turnos de 12 horas y con un caudal promedio de 70 l/s - 90 l/s.
Motor	Potencia	120 HP	120 HP	120 HP	120 HP	Operativo	
Tablero de Mando y Control	Potencia	120 HP	120 HP	120 HP	120 HP	Operativo	

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

Tabla 34. Diagnóstico de la planta de tratamiento Aziruni

TIPO	DIAGNÓSTICO				
	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
<b>Módulo 01</b>					
Infraestructura			X		
Operación		X			
Mantenimiento		X			
<b>Módulo 02</b>					
Infraestructura				X	
Operación					X
Mantenimiento				X	
<b>Módulo 03</b>					
Infraestructura			X		
Operación				X	
Mantenimiento			X		

*Fuente: Elaborado por el autor*

➤ **Estaciones de re-bombeo**

Las estaciones de re-bombeo están conformadas por todos los reservorios de almacenamiento donde también existen estaciones de bombeo que dotan el agua potable hasta los reservorios distribuidos a lo largo de la ciudad de Puno en las zonas altas, estos reservorios son la estación de re-bombeo R-04 Manto – reservorio R-02 de San Miguel, la estación de Re-bombeo R-02 de San Miguel al Reservorio R-01 de Villa Paxa y la estación de Re-bombeo RA-03 de Chacarilla al Reservorio RA-05 de Manto y R-R-3 de Ricardo Palma.

La estación de Re-bombeo R-04 Manto – Reservorios R-02 de San Miguel está compuesta por dos (02) equipos de bombeo, cada cual, con un tablero de mando y control con una potencia de 150 HP, para una altitud de 80 mca y con un caudal de bombeo que llega hasta los 100 l/s en cada uno de los equipos. Posee una línea de impulsión de 1 392 m de tubería de A-Cem de 300 mm (12 plg) de diámetro, las especificaciones se encuentran en la tabla 35 presentada a continuación.

Tabla 35. Esp. técnicas de equipos en la estación de re-bombeo R-04

DESCRIPCION	ESPECIFICACIONES	EQUIPO N°01	EQUIPO N°02	ESTADO	OBS.
Bomba tipo Turbina Vertical	Tipo Caudal ADT	VTP 100 l/s 80 mca	VTP 100 l/s 80 mca	Operativo	Se opera con un intervalo entre las dos bombas, con turnos de 12 horas y con un caudal promedio de 180 l/s
Motor	Potencia	150 HP	150 HP	Operativo	
Tablero de Mando y Control	Potencia	150 HP	150 HP	Operativo	

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

La estación de Re-bombeo R-02 de San Miguel al Reservorio R-01 de Villa Paxa está conformada por dos equipos de bombeo cada uno de los cuales cuenta con un tablero de mando y control de potencia de 75 HP para una altitud de 134 mca, cuenta con un caudal de bombeo de 26 l/s. Posee una línea de impulsión de 3 197 m de tubería de PVC de 150 mm (6 plg) de diámetro, las especificaciones se encuentran en la tabla 36 presentada a continuación.

Tabla 36. Esp. técnicas de equipos en la estación de re-bombeo R-02

DESCRIPCION	ESPECIFICACIONES	EQUIPO N°01	EQUIPO N°02	ESTADO	OBS.
Bomba tipo Turbina Vertical	Tipo Caudal ADT	VTP 26 l/s 134 mca	VTP 26 l/s 134 mca	Operativo	Se opera con un intervalo entre las dos bombas, con turnos de 12 horas y con un caudal promedio de 180 l/s
Motor	Potencia	75 HP	75 HP	Operativo	
Tablero de Mando y Control	Potencia	75 HP	75 HP	Operativo	

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

La estación de Re-bombeo RA-03 de Chacarilla al Reservorio RA-05 de Manto y R-R-3 de Ricardo Palma está conformada por cuatro equipos de bombeo cada uno de los cuales cuenta con un tablero de mando y control de potencia de 55 HP para los dos primeros y 60 HP para los siguientes dos, para una altitud de 104 mca, cuenta con un caudal de bombeo de 23 l/s y 66 l/s. Posee una línea de impulsión de PVC de 150 mm (6 plg) de diámetro, las especificaciones se encuentran en la tabla 37 presentada a continuación.

Tabla 37. Esp. técnicas de equipos en la estación de re-bombeo RA-03

DESCRIPCION	ESPECIFICACIONES	EQUIPO N°01	EQUIPO N°02	EQUIPO N°03	EQUIPO N°04	ESTADO	OBS.
Bomba tipo Turbina Vertical	Tipo Caudal ADT	VTP 66 l/s 120 mca	VTP 66 l/s 120 mca	VTP 66 l/s 120 mca	VTP 66 l/s 120 mca	Operativo	Se opera con un intervalo entre las dos bombas, con turnos de 12 horas y con un caudal promedio de 70 l/s - 90 l/s.
Motor	Potencia	60 HP	60 HP	60 HP	60 HP	Operativo	
Tablero de Mando y Control	Potencia	75 HP	75 HP	75 HP	75 HP	Operativo	

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

Todas estas infraestructuras cumplen un papel primordial como componente del sistema de abastecimiento de agua potable, a continuación, se presenta la ficha sobre el diagnóstico de las estaciones de re-bombeo.

Tabla 38. Diagnóstico de las estaciones de re-bombeo

TIPO	DIAGNÓSTICO				
	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
<b>R-04 Manto – Reservorios R-02 de San Miguel</b>					
Infraestructura				X	
Operación				X	
Mantenimiento			X		
<b>R-02 de San Miguel al Reservoirio R-01 de Villa Paxa</b>					
Infraestructura				X	
Operación				X	
Mantenimiento			X		
<b>RA-03 de Chacarilla al Reservoirio RA-05 de Manto y R-R-3 de Ricardo Palma</b>					
Infraestructura				X	
Operación				X	
Mantenimiento			X		

*Fuente: Elaborado por el autor*

➤ **Las cámaras de cargas y líneas de conducción**

Estas están conformadas por la cámara de carga 1 – Chejoña, esta cámara cuenta con dos (02) líneas de conducción, la primera tubería de 2,848 m de A-Cem con un diámetro de 350 mm dirigida al Reservoirio RA.03 (Chacarilla y la segunda de DN 150 mm de PVC dirigida hacia el Reservoirio Chanu Chanu. La conducción de la cámara de carga número dos al Reservoirio R.04 (Manto), tiene una longitud de 1,894 m de tubería AC con un diámetro de 14”. La conducción de la cámara de carga número dos a la cámara rompe presión tiene una longitud de 540 m de tubería AC con un diámetro de 6”. La conducción de la cámara rompe presión al reservoirio R.850 (Parque industrial), tiene una longitud de 412 m de tubería A-Cem con un diámetro de 6”. La conducción de la Cámara rompe presión al reservoirio R.300 (San Juan de Dios), tiene una longitud de 1,944 m de tubería AC con un diámetro de 4”.

Tabla 39. Características de las líneas de conducción de agua tratada

Línea	Diámetro (pulg)	Longitud (ml)	Antigüedad (años)	Estado físico	Tipo de tubería	Capacidad (lps)		Presión mca
						Actual	Máxima	
<b>Por gravedad</b>								
CC1-RA 02 Chanu Chanu	6"	1 577	17	Bueno	PVC	10.6	30.0	10.0
CC1 – R 2500	14"	2 900	41	Regular	AC	120.0	120.0	2.7
C. rompe presión R 850	6"	410	30	Regular	AC	4.0	41.0	15.9
C. rompe presión R San	4"	1 984	30	Regular	AC	2.0	6.0	7.7
CC2 – R4	14"	1 700	22	Regular	AC	70.0	80.0	8.1
R1 – C. Azoguini	6"	2 103	19	Bueno	PVC	12.0	12.0	9.0
R2 – R3 250m3	6"	864	25	Regular	AC	33.8	38.0	11.1
R4 – R5	6"	478	25	Regular	AC	15.3	45.0	12.9
CC2 - CRP Salcedo	6"	568	24	Regular	AC	6.0	45.0	11.1
<b>TOTAL</b>		<b>12 583</b>				<b>273.7</b>		
<b>Por bombeo</b>								
EB1 – CC1	14"	1 486	40	Regular	AC	86.0	150.0	94.0
R2500 – R Manto	8"	541	40	Regular	AC	52.6	55.0	39.0
R4 – R2	12"	1 437	25	Regular	AC	75.7	80.0	80.0
R2 – R1	6"	3 186	20	Bueno	F° dúctil	17.9	20.0	134.0
EB2 – CC2 Tramo 1	16"	1 400	25	Malo	Acero	50.3	171.0	139.0
EB2 – CC2 Tramo 2	16"	417	25	Regular	AC	50.3	171.0	139.0
R2500 – R 250	6"	625	32	Regular	AC	13.5	13.5	104.0
<b>TOTAL</b>		<b>9 092</b>				<b>346.3</b>		

Fuente: Empresa prestadora del servicio

### ➤ Reservorios de almacenamiento y distribución

Actualmente cuenta con diecisiete (17) reservorios usados específicamente para el almacenamiento apropiado y la distribución racional, dieciséis (16) son Tanques Apoyados y uno (01) Tanque Elevado, ambos tipos son de sección circular de concreto armado, todos los reservorios de almacenamiento se encuentran operativos y de regular estado.

La Conducción del Reservorio R.04 (Manto) / Reservorio R.05 (Vertiente el Manto), tiene una longitud de 386 m de tubería A-Cem con un diámetro 6".

En la tabla 40 a continuación se muestran las especificaciones de los reservorios encontrados.

Tabla 40. Esp. técnicas de los equipos de la estación de re-bombeo y reservorios

Reservorio		Fuente	Características			Estado Físico	Operación
Identificación	Ubicación		Capacidad (m3)	Tipo	Sección		
R-850 Parque Industrial	Urb. Industrial S/N Salcedo	Chimu	850	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado una vez al día.
R-300 San Juan de Dios	Urb. San Juan de Dios - Salcedo	Chimu	300	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado una vez al día.
R-04 Manto	Urb. Manto 2000	Chimu	660	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado continuo. Bombea al Reservorio-02
R-05 Las Torres	Urb. San Carlos	Chimu	850	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado una vez al día.
R-320 Chanu Chanu	Urb. Chanu Chanu	Chimu	320	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado continuo.
R-02 San Miguel	Barrio San Miguel	Chimu	660	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado dos veces al día. Bombea al Reservorio-01
R-01 Villa Paxe	Barrio Villa Paxe	Chimu	300	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado una vez al día. Bombea al R-Aracmayo
R-03 Ricardo Palma	Barrio Ricardo Palma	Chimu	850	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado una vez al día.
R-250 Ricardo Palma	Barrio Ricardo Palma	Chimu	250	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado una vez al día.
R-2500 Chacarilla	Barrio Chacarilla	Chimu	2500	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado continuo. Bombea al R-1175 y R-250

R-1175	Barrio San Antonio	Chimu	1175	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado una vez al día.
R-Aracmayo I	Barrio Virgen de Guadalupe	Chimu	225	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado una vez al día.
R-Aracmayo II	Barrio Virgen de Guadalupe	Chimu	125	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado una vez al día.
R-Aracmayo III	Barrio Virgen de Guadalupe	Chimu	500	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado una vez al día.
R-Habitad Totorani	Barrio Ciudad Humanidad de Totorani	Chimu	250	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado una vez al día.
R-Totorani	Barrio Las Cruces	Chimu	1325	Tanque Apoyado	Circular	Bueno	Llenado una vez al día.
R-300 Aziruni	Urb. Tepro S/N Salcedo	Chimu	300	Tanque Elevado	Circular	Bueno	Llenado dos veces al día.

Fuente: Empresa prestadora del servicio

Figura 12. Ubicación de estaciones de re-bombeo y Reservorios



Fuente: Elaborado por el autor

➤ **Redes de distribución**

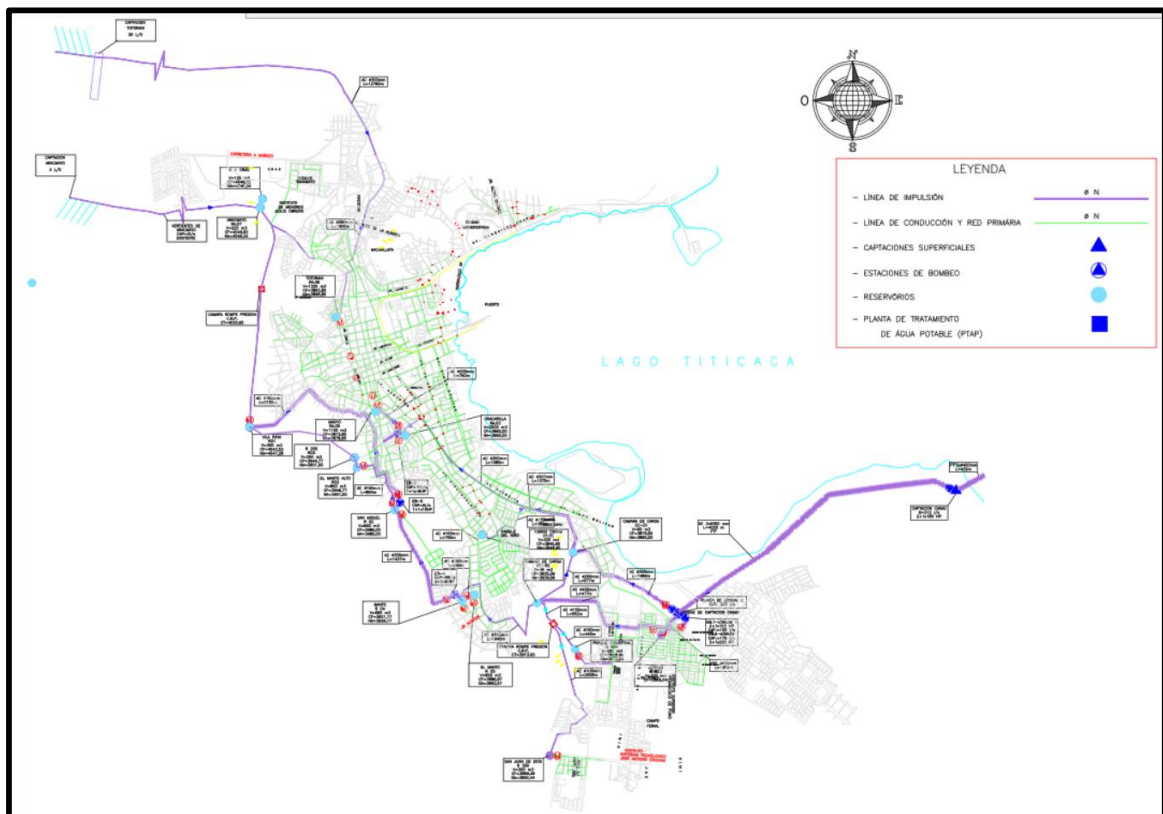
La red de distribución dentro de la ciudad está actualmente conformada por dos tipos de tuberías, una de asbesto cemento (A-Cem) y otra de PVC, con una longitud aproximada de 191 km, sus diámetros varían entre las 12” hasta de 2”. El sistema de distribución está dividido en 17 sectores detallados en el Anexo.

Tabla 41. Redes matrices y redes de distribución

Redes matrices		Redes de distribución	
Diámetro (pulg)	Longitud	Diámetro (pulg)	Longitud
12”	2 311	6”	12 102
10”	4 254	4”	95 516
8”	6 333	3”	40 567
6”	17 078	2”	8 679
4”	4 031	<b>TOTAL</b>	<b>156 864</b>
<b>TOTAL</b>	<b>34 007</b>		

Fuente: Empresa prestadora del servicio

Figura 13. Redes de distribución



Fuente: Empresa prestadora del servicio



➤ **Conexiones domiciliarias**

En el 2020 las conexiones domiciliarias de agua potable se registraron con un total de 44 868, este número constituye un crecimiento de 1 063 conexiones nuevas con respecto al año 2019 representando un crecimiento de 2.3%, un punto a favor de este crecimiento es efecto de la pavimentación de calles a cargo de la Municipalidad Provincial de Puno.

**Tabla 42. Evolución de conexiones de agua potable de la ciudad de Puno**

<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
36 033	37 829	38 856	39 912	41 052	42 067

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

La cobertura nos indica que la población en el 2020 se atendió a 136,411 habitantes aproximadamente lo cual indica casi un 95.60% de la población registrada. La proyección que se ha tomado se encuentra representada en la tabla 43 a continuación:

**Tabla 43. Evaluación de la cobertura de agua potable**

<b>Año</b>	<b>Cobertura (%)</b>
2015	86.47
2016	89.95
2017	94.55
2018	93.20
2019	95.00
2020	95.60

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

Durante los últimos años se ha tenido los volúmenes producidos por la empresa prestadora del servicio, además del volumen facturado y el no facturado (conexiones ilegales, tuberías descompuestas, medidores manipulados, etc.), hecho que mide las pérdidas tanto en producto como en ingreso para la empresa, lo cual no solo conlleva a pérdidas, sino que también al desperdicio de agua tratada.

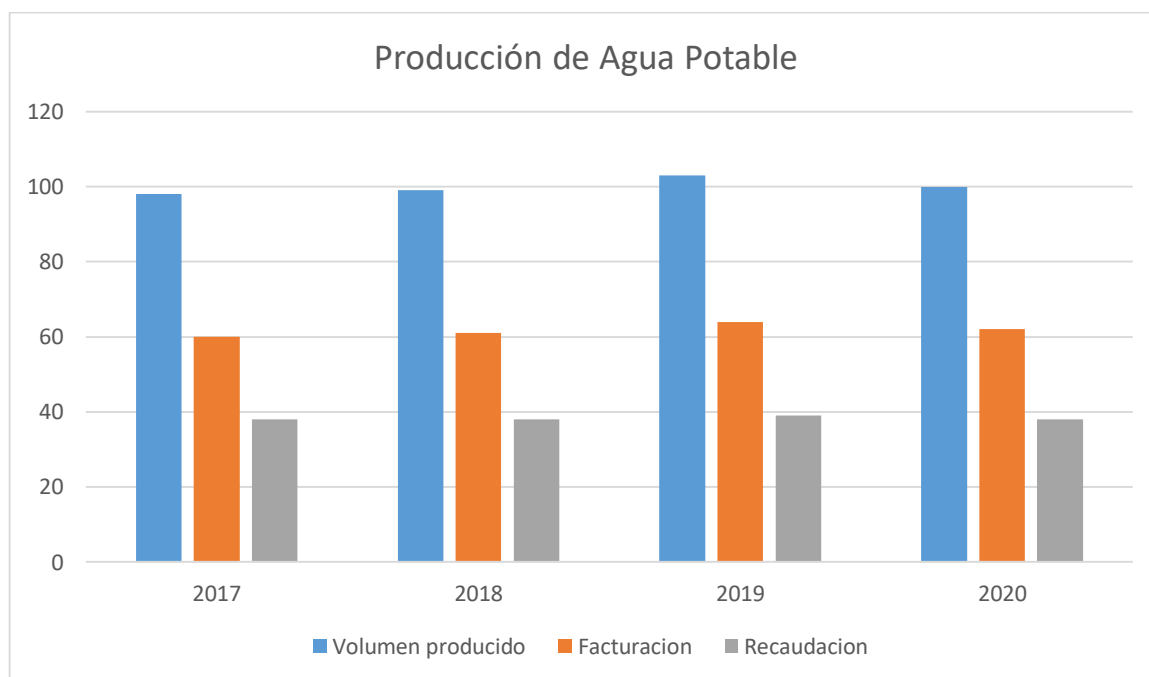
Para ello sabemos que la empresa prestadora del servicio generó una producción del año 2020 fue de 8,111,958 m<sup>3</sup> con un promedio de 22,225 m<sup>3</sup>/día, equivalente a 257 l/s, con un 39% de volumen no facturado.

Tabla 44. Producción de Agua potable

<b>PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE POR AÑOS</b>			
<b>Años</b>	<b>Volumen producido (m3)</b>	<b>Volumen facturado (m3)</b>	<b>Volumen no facturado (%)</b>
2012	6,143,848	5,013,429	18
2013	7,611,819	5,306,940	30
2014	7,871,105	4,701,711	40
2015	7,882,572	4,876,366	38
2016	8,098,186	4,899,221	40
2017	7,936,773	4,943,869	38
2018	8,017,595	4,989,848	38
2019	8,383,213	5,117,866	39
2020	8,111,958	5,029,414	38

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

Gráfico 10. Evolución de la producción de agua potable



*Fuente: Elaborado por el autor*

La continuidad y presión de los servicios es un indicador que depende de la topografía de la ciudad, la cual se ha dividido en 17 sectores (Ver Tabla Anexo), cada uno con continuidad y presión diferentes, para la culminación del año 2019 se tiene un promedio de continuidad de 8.2 horas y 33,07 mca de presión máxima y 17,66 mca de presión mínima. La tabla 45 presenta el detalle de la cobertura y presión de los 17 sectores.

Tabla 45. Cobertura y continuidad por sectores

<b>Cobertura de los servicios (%)</b>			
<b>Sector</b>	<b>Continuidad promedio del servicio (hrs)</b>	<b>Presión del servicio (mca)</b>	
		<b>Máxima</b>	<b>Mínima</b>
S-1	07:23:02	26.83	15.64
S-2	03:21:13	30.29	5.79
S-3	18:20:48	29.26	18.13
S-4	24:00:00	28.41	19.38
S-5	04:48:53	34.44	5.01
S-6	04:52:37	34.07	4.54
S-7	05:10:39	30.12	4.07
S-8 I	08:33:45	55.30	49.03
S- 8 II	05:44:42	28.00	23.68
S-9	02:12:12	31.52	11.19
S-10	04:03:22	24.89	12.26
S-11	24:00:00	30.14	9.31
S-12	10:57:04	35.74	17.95
S-13	09:33:41	43.78	21.98
S-14	06:24:35	40.81	32.11
S-15	02:44:15	40.89	28.04
S-16	02:42:32	35.94	35.94
S-17	07:07:45	32.03	20.38

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

Las conexiones de agua potable activas a nivel de la ciudad de Puno son un total de 37,225, que representa un 88.23% del suministro de agua potable en la jurisdicción de la empresa, el porcentaje por categorías de abastecimiento se presentan en la tabla 46 presentada a continuación.

Tabla 46. Usuarios Activos de consumo de Agua potable por categoría

<b>Categoría</b>	<b>Usuarios activos</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Social	40	0.10
Domestica	34,799	90.49
Comercial	3,173	8.48
Industrial	80	0.20
Estatal	257	0.73
<b>TOTAL</b>	<b>38,349</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Empresa prestadora del servicio*

Además de la recopilación obtenida de la empresa prestadora del servicio también se procesó la información tomada de la muestra, esta nos entrega las cifras sobre la visión de la población, entre estos aspectos tenemos: el suministro, demanda, calidad, accesibilidad y satisfacción.

Estas cifras nos muestran que más del 90% de hogares encuestados tiene acceso al agua para consumo doméstico ya sea por conexión a la red dentro o fuera de su domicilio, o cuenta con una fuente alternativa como son las piletas públicas, ojos de agua, pozos o manantiales, dentro de estas más del 40% no están satisfechos con el servicio de abastecimiento. Dentro del porcentaje restante que no cuentan con el acceso al agua potable se pueden encontrar factores de tal hecho como son:

- La distancia entre la tubería matriz y el domicilio.
- La presión de la red no permite su instalación.
- Problemas con las tuberías por antigüedad.
- El precio de instalación de la conexión supera su presupuesto.
- Sienten que la empresa no se preocupa por los pobladores por no gestionar ampliaciones de redes.

Además, la ciudad de Puno no cuenta con un plan maestro de la ciudad, lo que no permite planificar de manera óptima las propuestas de mejoramiento. Algunos de los factores dentro de este punto son:

- Ausencia de la Municipalidad Provincial y la empresa prestadora del servicio.

- Topografía irregular de la ciudad.
- Falta de presupuesto y mano calificada de la empresa prestadora del servicio.
- Dependencia energética para el bombeo a los reservorios.

El control de calidad de agua potable, la empresa prestadora del servicio tiene como objetivo primordial garantizar la calidad del agua para el consumo de los ciudadanos, esta empresa va cumpliendo los parámetros establecidos por la SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento), DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria) y organismos internacionales como OPS (Organización Panamericana de la Salud) y la OMS (Organización Mundial de la Salud). Este control se encuentra registrado en el su laboratorio de control de calidad:

- Control de procesos y análisis Físico-Químico y Microbiológico de la planta.
- Control de procesos de desinfección de la planta de tratamiento.
- Control de procesos de desinfección de reservorios con captación.

Tabla 47. Control de calidad de agua potable 2020

VARIABLE	TRIMESTRE				TOTAL
	I	II	III	IV	
Análisis Físico Químico Parcial	1,106	1,097	1,140	1,137	<b>4,480</b>
Análisis Físico Químico Completo	13	13	14	14	<b>54</b>
N° muestras satisfactorias $\geq 0.5\text{mg/l}$ Cloro Residual	3,240	3,138	3,292	3,297	<b>12,967</b>
N° muestras satisfactorias Turbiedad $< 5$ (NTU)	1,656	1,610	1,693	1,694	<b>6,653</b>
N° muestras satisfactorias para Análisis Microbiológico (Coliformes Totales, Fecales, bacterias heterotróficas y E. Coli).	692	788	920	1,104	<b>3,504</b>

*Fuente: Laboratorio de la Empresa prestadora del servicio*

La estructura tarifaria, la empresa prestadora del servicio considera una tasa tarifaria que según la misma coadyuva a la sostenibilidad económica y viabilidad

financiera además de comprometer a ésta con la mejora del servicio, esta estructura tarifaria se desarrolla por categorías, rangos y ubicación:

Tabla 48. Estructura tarifaria de agua potable 2020

CATEGORÍAS	RANGOS DE CONSUMO (M3/MES)	AGUA POTABLE TARIFA (S/. / M3)	VOLUMEN ASIGNADO	CARGO FIJO
Residencial				
Social	0 a 10	1,1997	16	2.08
	10 a más	1,6664		
Doméstico	0 a 10	1,1997	12.5	2.08
	10 a 20	1,2668		
	20 a 25	2,5772		
	25 a más	2,8234		
No Residencial				
Comercial	0 a 30	1,9689	30	2.08
	30 a más	4,1989		
Industrial	0 a 60	3,8324	60	2.08
	60 a más	5,7779		
Estatad	0 a 35	1,7516	40 90 150	2.08
	35 a más	2,8234		

*Fuente: Laboratorio de la Empresa prestadora del servicio*

Para seguir con la relación ya mencionada estableceremos los puntos necesarios para el mejoramiento de este sistema de abastecimiento de agua potable para el año 2050.

Empezaremos por el mejoramiento de captaciones, que para lograr cubrir el caudal requerido no sólo se necesitará mejorar los existentes, sino que también se requerirá generar nuevos, afortunadamente la ciudad de Puno cuenta con una fuente de agua accesible como lo es el Lago Titicaca.

La captación Chimu Nueva es apta para el mejoramiento, pues actualmente el Lago Titicaca (fuente principal de la captación) tiene un descenso lo que al paso de los años generará que esta quede obsoleta. Esta mejora propone extender la línea de succión, mejorar la cámara de bombeo y la línea de impulsión, manteniendo su caudal de 150 l/s para no alterar las instalaciones existentes.

La captación Totorani, se propone mejorar la captación superficial proveniente del río Totorani mejorando el caudal de aforo en un 30% pasando de 98 l/s a 127 l/s.

También se proponen captaciones nuevas en el Lago Titicaca, para este punto se proponen dos puntos nuevos de captación, uno dirigido hacia la planta de tratamiento de agua potable Aziruni con 150 l/s de caudal de aforo, y otra para el nuevo Sector N°18 que contempla a Uros - Chulluni con un caudal de 30 l/s con su propio sistema de desinfección a base del hipoclorito de calcio al 65 % de cloro activo libre, el segundo punto es la Captación superficial del Rio Aracmayo, esta captación tiene por objetivo lograr un caudal de aforo de 100 l/s.

Figura 14. Propuesta de ubicación de las captaciones nuevas



*Fuente: Elaborado por el autor*

La optimización de la planta de tratamiento de agua potable Aziruni es fundamental, y entendamos que esta es convencional y compuesta de varias etapas (floculación, sedimentación, filtración y desinfección), para obtener una mejora considerable debemos optimizar su funcionamiento, su proceso y su diseño, este esquema es

fundamental para garantizar la calidad de agua. Para cada etapa Angreni (2010) propone:

En el proceso de floculación, para su optimización se debe considerar la dosificación de productos químicos y mezcla instantánea, la estabilidad coloidal, selección y evaluación de factores coagulantes y cómo estas actúan en su medio, como primer paso se debe identificar la relación entre la turbidez del agua cruda, dosis coagulante, pH, alcalinidad cruda y coagulada versus su versión final.

Esta optimización se debe realizar en cinco procesos, el primero es establecer la floculación crónica por gradiente de una velocidad óptima de  $G=20-70$  s en 20-30 min para sedimentación, el segundo corresponde a las paredes de deflectores que deben minimizar la carga, el tercio donde si la carga de aire es insuficiente se debe establecer una mayor energía  $G=100$  s en 15 minutos en total, para el cuarto el punto máximo debe crear una velocidad de 2-3 m/s para la turbina vertical de los floculadores, esto para evitar daños a los flóculos y como quinto proceso puede ser o no adoptado, este consiste en la adición de algunas sales minerales u orgánicas las cuales pueden generar la aglomeración de ciertas partículas lo que hace más fácil su eliminación por decantación o filtración.

En el proceso de sedimentación, en esta etapa consideraremos a la corriente de densidad por variación de temperatura, tasa de carga excesiva, falla de diseño por entrada irregular, división de flujo, tasa de eliminación de lodos baja, todos estos aspectos pueden ser fácilmente óptimos con el adecuado diseño, como reconfigurar la entrada (regular), mejoramiento del canal de entrada además de vertederos de entrada también regular, cuencas de floculación con mejor distribución de flujo que genere una pérdida de carga, sabiendo que la altura eficiente permitirá el ahusamiento y eculización de velocidades.

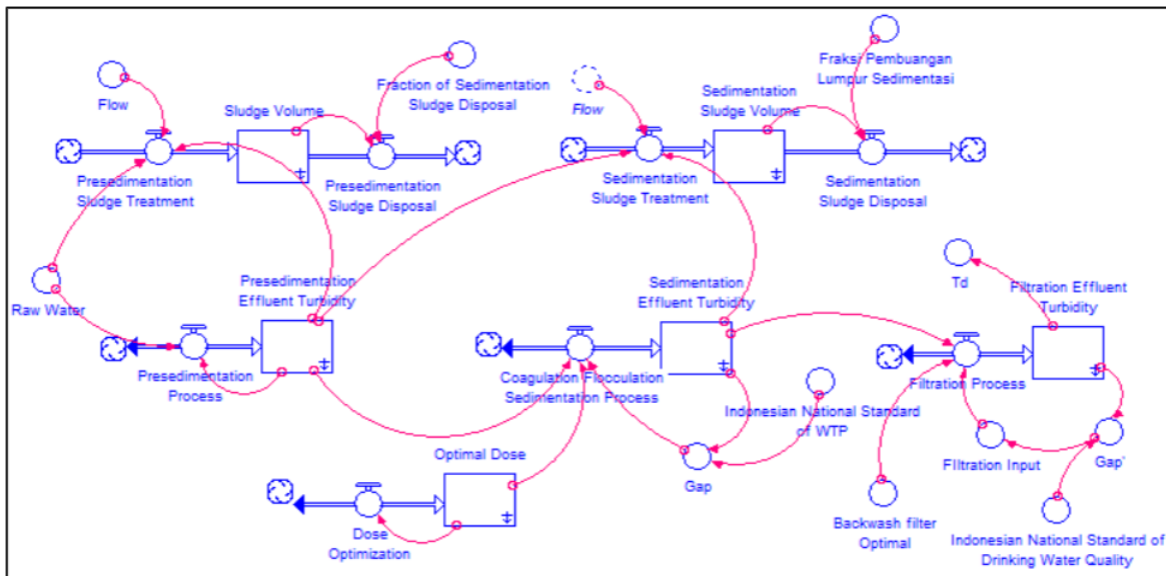
En el proceso de filtración, la inspección del lecho de soporte y filtrante es primordial en este proceso, pues determina los factores de este proceso como el muestreo de núcleo de filtro, características de residuos retro lavados y retención de flóculos los cuales aclaran el agua y mejora la eficacia de la desinfección. La clasificación de las capas óptimas está destinadas a la eliminación de restos de retrolavado, partículas de filtro, disminución de la tasa de lavado en el desprendimiento de



partículas remanentes a través de un menor flujo de agua mientras se mantiene la exclusión óptima de las partículas previamente eliminadas del medio filtrante.

En el proceso de desinfección, si bien es cierto el proceso de desinfección mediante la cloración y de pequeñas cantidades de otros componentes que ayudan a su desinfección están reconocido y es aceptados dentro de los parámetros de calidad de consumo de agua, sin embargo, estos a su vez generan subproductos de desinfección que han sido una gran preocupación debido a los efectos desfavorables para la salud, para lo cual se deben desarrollar métodos analíticos para determinar la menor cantidad de sustancias que generen menos subproductos y estén en el rango aceptable de calidad de agua, a partir de este punto podemos determinar que la ozonización final es un proceso que elimina posibles remanentes de microorganismos o subproducto. La siguiente figura muestra un diagrama de flujo completo sobre el proceso de Water Treatment Plant (WTP) y el modelo de operación de una planta eficiente.

*Figura 15. Diagrama de flujo y operación*



*Fuente: System dynamic modeling – Endah Angreni*

Para la propuesta de reservorios en la ciudad tenemos que hallar el volumen de almacenamiento que se requerirá para abastecer a la población en el 2050, para ello utilizaremos las fórmulas de cálculo de volumen de reservorio.

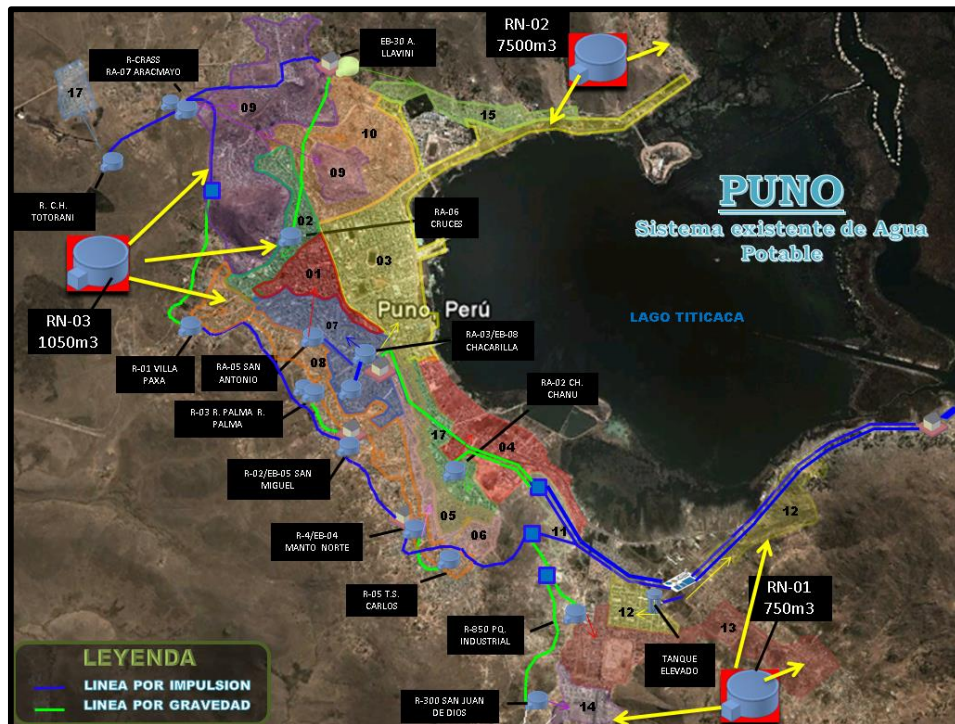
En cuando al mejoramiento de los reservorios, tenemos que los 17 reservorios cuentan con una capacidad de almacenamiento de 11,440 m<sup>3</sup>, en cuanto a nuestro pronóstico tenemos un volumen de 13,930.09 m<sup>3</sup>, lo que hace una diferencia de 2530.09m<sup>3</sup>, que, para efectos de mejor distribución y amplitud, se proponen 03 reservorios nuevos, 01 de 1050m<sup>3</sup> en la zona denominada ventilla con abastecimiento de la planta nueva Aracmayo, 01 de 750m<sup>3</sup> en Uros Chulluni que abastecerá a esta población, al sector 15 y parte del sector 03, y por último 01 de 750m<sup>3</sup> en Jayllihuaya para abastecer a los sectores 12,13 y 14.

Tabla 49. Estructura tarifaria de agua potable 2020

AÑO	POBLACIÓN	Qmed	Qmd	Qmh	REGUL.	RESERVA	INCENDIO	TOTAL
2017	135288	307.45	461.18	614.90	7686.25	3228.23	100.00	11014.48
2020	142295	323.91	485.87	647.82	8097.75	3401.06	100.00	11598.81
2025	148473	338.55	507.83	677.10	8463.75	3554.78	100.00	12118.53
2030	154070	351.92	527.88	703.84	8798.00	3695.16	100.00	12593.16
2035	158921	363.63	545.45	727.26	9090.75	3818.12	100.00	13008.87
2040	162862	373.33	560.00	746.66	9333.25	3919.97	100.00	13353.22
2045	165986	381.17	571.76	762.34	9529.25	4002.29	100.00	13631.54
2050	169170	389.58	584.37	779.16	9739.50	4090.59	100.00	13930.09

Fuente: Laboratorio de la Empresa prestadora del servicio

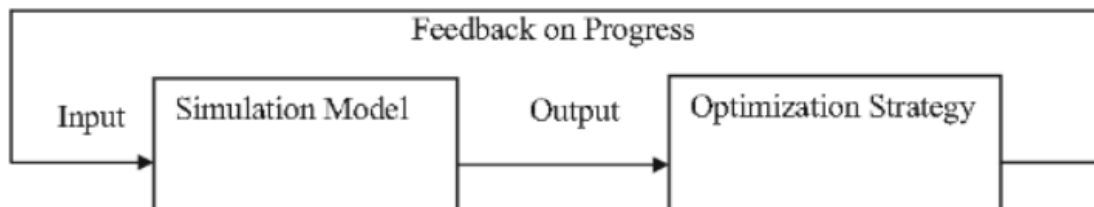
Figura 16. Propuesta de ubicación de los reservorios nuevos



Fuente: System dynamic modeling – Endah Angreni

La optimización de los reservorios puede ser considerada como una programación lineal, que como mencionó Ahmad et al. (2014) es una de las técnicas de optimización más populares de los últimos tiempos para la gestión de recursos hídricos cuando la variable y su restricción dentro del sistema de recursos tiene una función lineal, además este método es reconocido por su versatilidad en sistemas de gran extensión. Belaineh et al. (1999) en su investigación opto por combinar una simulación lineal con una de una corriente en la cuenca de un rio, este estudio reveló una mejora significativa tanto en la calificación de la captación y la distribución del reservorio. Algunas investigación incluso ofrecen paquetes de software como lo realizan Rani & Moreira (2010) para el diseño y distribución eficiente y dinámica. Los objetivos principales de esta técnica de programación están asociada a la demanda de agua, embalse, liberación de agua y periodos de lluvia. También se pueden optar por las técnicas alternativas como ABC (Artificial Bee Colony) y GSA (Gravitational Search Optimization), ambos algoritmos que con menos parámetros logran la optimización del componente y planificar las estrategias de adaptación al medio en el que se encuentre.

Figura 17. Simulation and Optimization model



*Fuente: Reservoir optimization in wáter resources: A Reiew – Anmed El-Shafie*

El siguiente punto del sistema de abastecimiento constituye a la red de distribución, en la cual se busca ampliar las redes de una longitud de 190.87 km a 249.88 km aproximadamente, un cambio de tubería por antigüedad del 10% de la red existente, esto pertenece a las zonas céntricas específicamente al sector 03 y 01.

Entre estas ampliaciones tenemos a los sectores en auge, con una proyección de crecimiento alta, como las zonas de Totorani, Salcedo, Jayllihuaya, Uros Chulluni y Ventilla.

Figura 18. Crecimiento de las redes de distribución



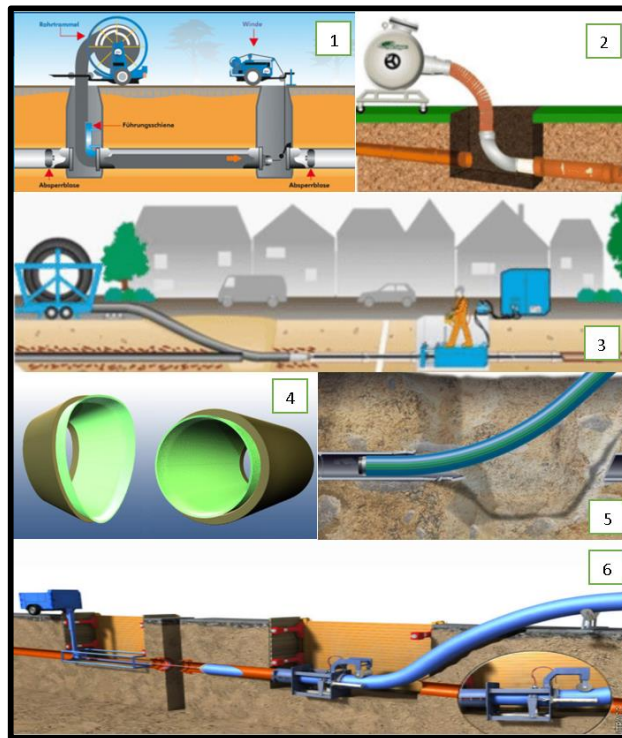
*Fuente: System dynamic modeling – Endah Angreni*

Para la rehabilitación de las tuberías existentes del sistema de abastecimiento y distribución existen varios métodos que se pueden emplear.

El investigador Aşchilean et al., (2017) propone el uso del método AHP (Analytic Hierarchy Process) del desarrollador Thomas L. Saaty (1997, 1980, 1982, 1988, 1955) aplicado a la rehabilitación de tuberías, este método analiza una respuesta mediante la estructura de los componentes de decisión. La aplicación del método AHP muestra principalmente los problemas de decisión según el campo económico y técnica, es decir la inversión, equipos, maquinaria, disponibilidad de recursos, etc.

Para la rehabilitación de redes existen métodos clásicos con zanjas o sin zanjas, las tecnologías sin zanjas son las más recomendables para zonas urbanas, pues su instalación no requiere de la excavación de la línea completa, más sin embargo dependiendo del método utilizado está requerirá una distancia diferente para las excavaciones, estos métodos pueden ser: (1) Compact-Pipe, (2) CIPP, (3) Sliplining Subline, (4) GFK-Liner, (5) Microtunelado y (6) Swagelining Roll-down.

Figura 19. Métodos de rehabilitación de tuberías sin zanjas



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia

<https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/pipe-jacking/>

En el método AHP implica según Saaty (1980) seguir con 11 pasos, estos son:

- 1) Identificación del problema práctico.
- 2) Identificación de objetivos y criterios de decisión  $C=[C_j]$ , donde  $j= n^\circ$  de criterios.

Tabla 50. Criterios de decisión

No.	Criterion	Name of criteria	Type	Description
1	$C1$	Diameter of the pipe	maximized	It is advisable to select that alternative that can be used for the entire range of pipes used in water distribution networks.
2	$C2$	Length of the pipe	maximized	It is advisable to select that alternative that can be used for the longest possible pipelines.
3	$C3$	Period of time required for installation	minimized	It is preferable the installation to be as quick as possible.
4	$C4$	Lifespan ratio between the rehabilitated pipe and the not rehabilitated pipe	maximized	The lifespan of the rehabilitated pipe must be higher than the lifespan of the replaced pipe.
5	$C5$	Pressure losses	minimized	The pressure losses should be as low as possible.
6	$C6$	Price	minimized	The price for replacing the pipes should be as low as possible.
7	$C7$	Installation conditions	minimized	The alternative should not set special installation conditions.

Fuente: Choosing the optimal technology to rehabilitate the pipes in water distribution systems using the ATH method - Aschilean Ioan

- 3) Empleo de una matriz de alternativas de aplicación  $A=[A_i]$ , donde  $i=n^\circ$  de alternativas.
- 4) Determinar el peso relativo en pares  $c=[c_{ij}]$ , aplicando valores del 1 al 9 que representan el grado de importancia que es inversamente proporcional al valor de comparación.

Tabla 51. Fundamental scale

Values/Rates	Description	Values/Rates	Description
1	Equally preferred or it does not matter (equal importance)	6	Strongly preferred towards obviously preferred
2	Equally preferred, but with certain moderate differentiation tendencies	7	Obviously preferred
3	Moderately preferred	8	Obviously preferred towards extremely preferred
4	Preferred towards strongly preferred	9	Extremely preferred
5	Strongly preferred		

*Fuente: The Analytic Hierarchy Process - Thomas L. Saaty*

- 5) Normalizar los valores “ $n_{ij}$ ”, los criterios de decisión se convierten en ponderaciones del promedio de la normalización.
- 6) Establecer el factor de consistencia de la matriz de criterios de decisión, establecimiento del coeficiente de uniformidad promedio “ $R$ ” en función del rango de la matriz.

Tabla 52. Valores del coeficiente promedio en función al rango de la matriz

(Order of matrix)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R$	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

*Fuente: Choosing the optimal technology to rehabilitate the pipes in wáter distribution systems using the ATH method - Aschilean Ioan*

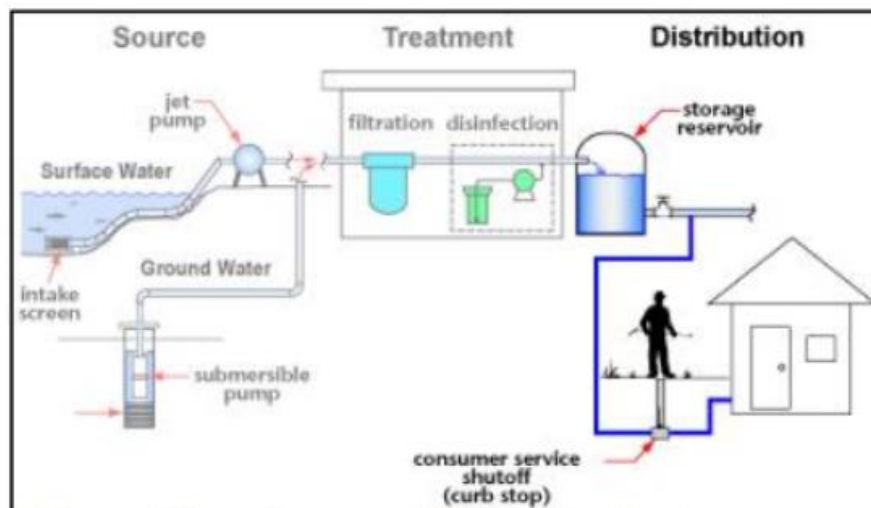
- 7) Determinar el peso relativo de las alternativas existentes y criterios, los resultados se registran como una matriz cuadrada “ $m$ ”, donde  $m=n^\circ$  de alternativas. El número resultante de matrices es igual al número de criterios.
- 8) Normalizar las alternativas de comparación con cada criterio de decisión.
- 9) Se implementa la matriz de desempeño donde se identifica el desempeño de las alternativas para cada uno de los criterios de decisión  $P=[P_{ij}]$ .

- 10) Calcular el valor total de cada uno de los criterios con el peso resultante para posteriormente sumarlos.
- 11) La alternativa más óptima del resultado es aquella donde la suma de las multiplicaciones del peso de cada alternativa y el peso de cada criterio obtenga el máximo valor.

Este cálculo puede llegar a ser complejo por lo que es recomendable utilizar un software (Expert Choice).

La mayoría de sistemas de optimización del abastecimiento de agua potable requieren el uso de tecnologías, por ejemplo, la automatización del sistema integral reuniendo a todos sus componentes, en este sentido es necesario el trabajo multidisciplinario que ayude con la evaluación del sistema más apropiado para la aplicación según el ámbito de estudio.

Figura 20. Diagrama de flujo del sistema de abastecimiento de agua

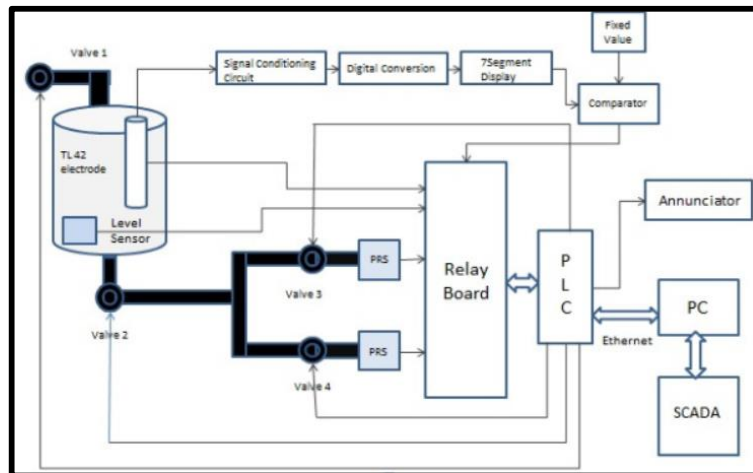


*Fuente: Modernization in Water Distribution System*

Entre los softwares y estudios relaciones mencionamos a los más resaltantes como EPANET, WaterGEMS y SCADA, los métodos de estudio más resaltantes según el autor son: PDA (Pressure Driven Analysis), WDS (Water Distribution System), System O & M (Administración de redes), TSFF (Time Series Forecasting Framework, DEM (Digital Elevation Model), los autores Bhatt & Paneria (2017) centran su investigación en la modernización del sistema de abastecimiento de agua potable en las ciudad, aplicando herramientas digitales, métodos de estudio resultando el más preciso el WaterGEMS comparado con otros,

Gaikwad & Puranik (2015) presenta un modelo de distribución de agua potable en áreas urbanas, el uso adecuado de tuberías para evitar la corrosión, las fugas, el robo del servicio e incluso si existen filtraciones o contaminación en la red.

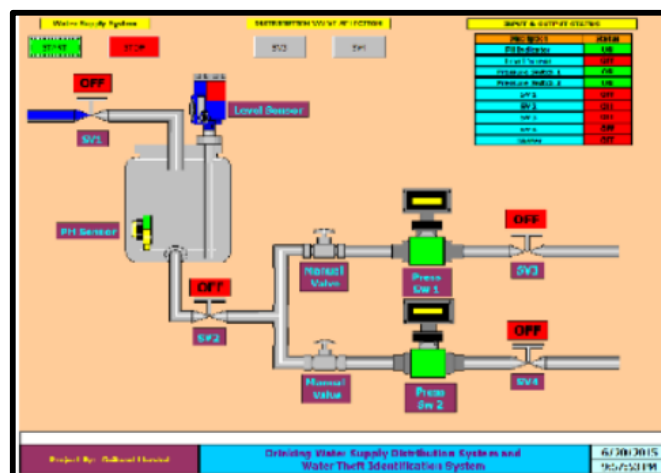
Figura 21. Diagrama de bloques del sistema PLC (Programmable Logic controller)



Fuente: [www.jifactor.com](http://www.jifactor.com)

Este proceso funciona dentro de la red de abastecimiento de agua potable, empieza con un sensor de nivel y un sensor de pH en el almacenamiento (reservorio), las redes de distribución cuentan con una caja con una válvula para controlar el flujo. La lógica del programa es realizar tareas específicas de automatización, resultando de ellas datos que alertan de daños, contaminación, fugas u algún otro percance en el proceso. Este proceso se realizó con la ayuda del software SCADA.

Figura 22. SCADA – Simulación del sistema



Fuente: *Automated Urban Water Supply System and Theft Identification*  
 Harshal A. Gaikwad, Prof. V.G.Puranik



Además de los recursos digitales para la evaluación de la distribución Pietrucha-Urbanik & Żelazko (2017) presenta un estudio para hallar fallas en la distribución del agua potable comparando los resultados de la empresa prestadora del servicio y los obtenidos por su evaluación, estos fueron evaluados según indicadores como tasas de falla, diámetro, material, tipo, estación y fecha de las fallas, una de las conclusiones más resaltantes es la obtenida por el material de tubería, por ejemplo el hierro fundido y acero galvanizado se caracterizan por una alta tasa de fallas que varían entre 0.2 y 1.0 falla/km/año en tuberías que sobrepasan su tiempo vida técnica.

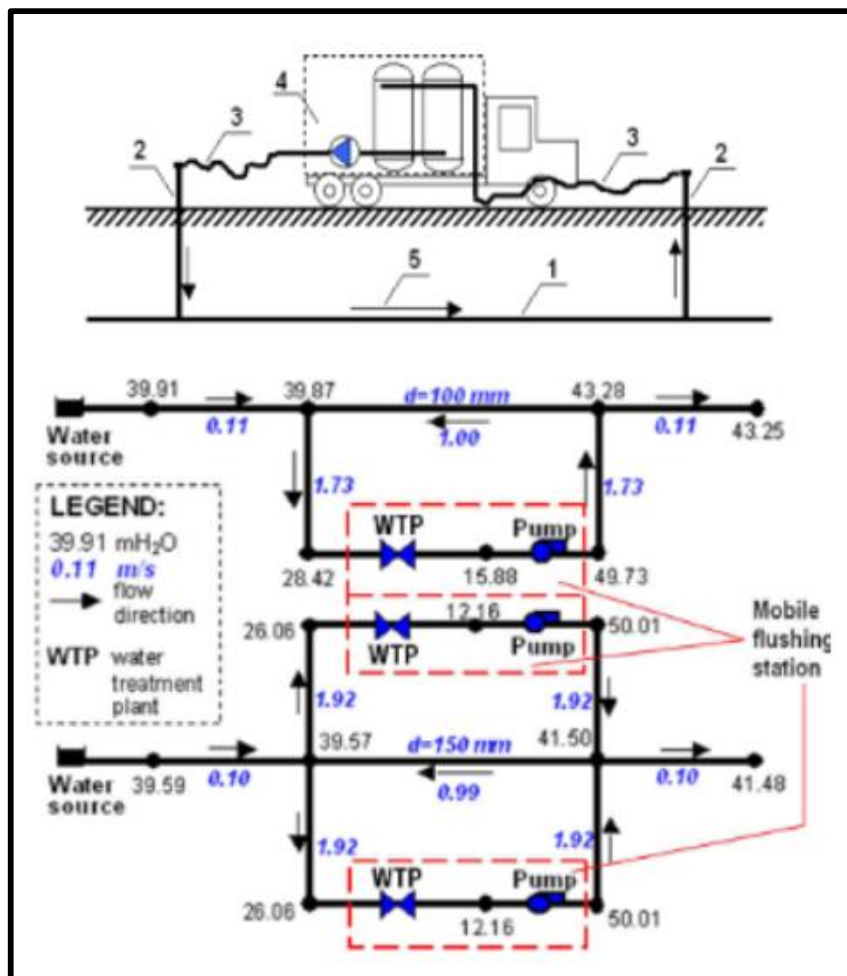
Para la calidad y consumo de agua potable Samburskiy & Grodzenskiy (2020) realiza una investigación para desarrollar enfoques para la evaluación de riesgos y la selección de la tecnología más adecuada que brinde a la población agua de calidad. Para desarrollar la evaluación se deben resolver algunas tareas que están interconectadas entre sí como son: Asegurar la calidad de la fuente de abastecimiento, selección del tratamiento de potabilización, calidad del tratamiento usado para la potabilización y la viabilidad económica de las técnicas seleccionadas para su aplicación.

En primer lugar, veremos cuando el deterioro está basado en el agua cruda, y el tratamiento de agua no está preparado, Rak & Pietrucha-Urbanik (2019) nos da un enfoque sobre la contaminación del agua para consumo con indicadores físico-químicos divididos en tres grupos según la nocividad, estos pueden ser: primer grupo (A) con índices como color, turbidez, hierro, manganeso, sulfatos y cloruros que no suponen una amenaza a la salud de la población, segundo grupo (B) con indicadores como formas de nitrógeno y fósforo, fluoruros, demanda química de oxígeno (DQO), nano partículas, hormonas, antibióticos y pH los cuales representan un riesgo significativo para la salud de la población, y el tercer grupo (C) con indicadores como metales pesados, fenol, cianuros y DDT y sus metabolitos todos estos representan una amenaza tóxica para la población.

Ahora bien, si vamos por una corrección de la calidad de agua dentro del sistema de abastecimiento de agua potable Kowalski et al. (2015) nos dice que los requisitos de calidad con comparativamente factibles de cumplir en casi todas fuentes, pero esta calidad puede ser alterada por condiciones climáticas, biológicas, cambios en

el ecosistema e inclusive en las líneas del mismo sistema de abastecimiento llamado “Contaminación secundaria”, para prevenir esta contaminación se puede emplear el lavado y limpieza de la red y uso adecuado de materiales. Para el lavado y limpieza se presentan tres métodos eficientes: (1) Método usando tanques de red, que consiste en el llenado del tanque de manera cíclica para encontrar una falla en la calidad del agua. (2) Método usando plantas de tratamiento en red, utilizando una red en bucle, forzando una circulación distribuida de enjuague, este flujo puede alterarse forzando un flujo dirigido en cualquier punto. (3) Método usando estaciones de lavado móvil, se observa que los elementos de contaminación más frecuentes existen en las partes terminales de los sistemas de distribución (conexiones domiciliarias) por lo que este método es el punto inicial para desarrollar su técnica.

Figura 23. Método usando estaciones de lavado móvil



Fuente: *Water Quality Correction Within Water Distribution System*  
Dariusz Kowalski, Beata Kowalska, Ewa Holota and Artur Choma

**Los resultados del objetivo 3** las medidas tomadas para mejorar el desarrollo sostenible de los recursos hídricos garantizan la sostenibilidad del recurso hídrico, y todos los sistemas actuales.

En cuanto a los aportes de ingeniería como regulador del recurso hídrico tenemos a Posada Arrubla et al. (2005) quienes examinan estos aportes a un largo y mediano plazo. Esta regulación es entendida como la dosificación en el uso del recurso hídrico, la sostenibilidad como la satisfacción de cubrir las necesidades del presente sin afectar las capacidades de las futuras generaciones. La ingeniería puede aportar particularmente a la sostenibilidad en desarrollo por medio de la cobertura (rural y urbana), calidad (prevención de la contaminación), y la infraestructura. También nos advierte del crecimiento exponencial de la población y el peligro de subsistencia por la limitación del acceso al agua (dulce) por lo que se propuesto un nuevo paradigma postulado en la Conferencia Internacional de Dublín acerca del Agua y el Ambiente denominado “ECOHIDROLOGÍA”.

En el aspecto técnico con palabras de Valentukevičiene et al. (2011) la evaluación del desarrollo sostenible del sistema de abastecimiento de agua potable debe ser aplicado en todas sus etapas, además de una evaluación constante del agua de la captación para determinar los cambios en la calidad y la evaluación de la red de distribución para la detección de lugares donde la calidad cambio. Toda la evaluación y resultado están dadas desde el punto de vista del desarrollo sostenible. Este modelo ayuda con la estructuración del contenido físico-químico en el sistema. Al elegir los mejores materiales para las redes del sistema de abastecimiento el autor aplica la política de desarrollo sostenible como: la evaluación de la calidad de vida de la población y el ciclo de vida de la red del abastecimiento de agua potable desarrollando una actitud correcta para la sostenibilidad.

En el aspecto de gestión socio-ambiental Arroyave Rojas et al. (2012) nos dice que este alcanza todas las actividades de conservación, protección y educación ambiental relacionadas al recurso hídrico, para ello se requiere una transformación del pensamiento acompañado de una gestión política para el adecuado uso del recurso hídrico transformando la gobernabilidad y la institucionalidad. Todos estos cambios deben estar acompañados de un proceso de educación y sensibilización

ambiental. En este sentido plantea que el abastecimiento y consumo del agua son usados en todas las actividades de la población (domésticas, transformación de bienes y servicios), y aunque los instrumentos o metodologías no están completamente determinados estos pueden ser utilizados, por ejemplo, en el caso de Colombia la preocupación por el control de calidad del agua para consumo únicamente es evaluada y controlada en la red de abastecimiento y no se examina la prevención o creación de planes con un manejo integral de cuencas considerándolos como instrumento de conservación la preservación de las fuentes de abastecimiento.

Los desafíos más resaltantes para la sostenibilidad hídrica del ciclo urbano del agua en Bogotá según Peña-Guzmán et al. (2016) son: continuar con las acciones legislativas las cuales deben promover la conservación del agua para consumo de parte de la población; generar programas de educación ambiental en las instituciones educativas, en los locales comunales y en los barrios además de la modernización de las redes de distribución; y la gestión interna de las empresas prestadores del servicio de abastecimiento de agua potable en cuanto a infraestructura se refiere, lo que implica una reducción de pérdidas y una adición en el funcionamiento como la eficiencia. Además, estos autores sugieren alternativas no convencionales de suministro de agua como: agua de lluvia, subterráneas, reúso y desalinización.

Para el Perú existe el Plan Nacional de Recursos Hídricos Del Perú (2013) surgido por la necesidad de una gestión y administración de los recursos hídricos del país. Este plan tiene por objetivo la planificación que posibilite el uso adecuado del recurso contribuyendo a la gestión de los recursos.

Este plan cuenta con programas de medidas y metas tomadas sobre dos posibles escenarios (2021 y 2035) instrumentos de planificación políticos y estratégicos llegando a cumplir objetivos tales como conseguir la conservación de ecosistemas y sus procesos hidrológicos, recuperar y proteger la calidad de los recursos, atender oportunamente la demanda del recurso hídrico para la población, promover la cultura del agua e identificar la variedad del clima y los impactos que ocasiona en los recursos hídricos para ello el PNRH contempla:

Tabla 53. Programas de medidas

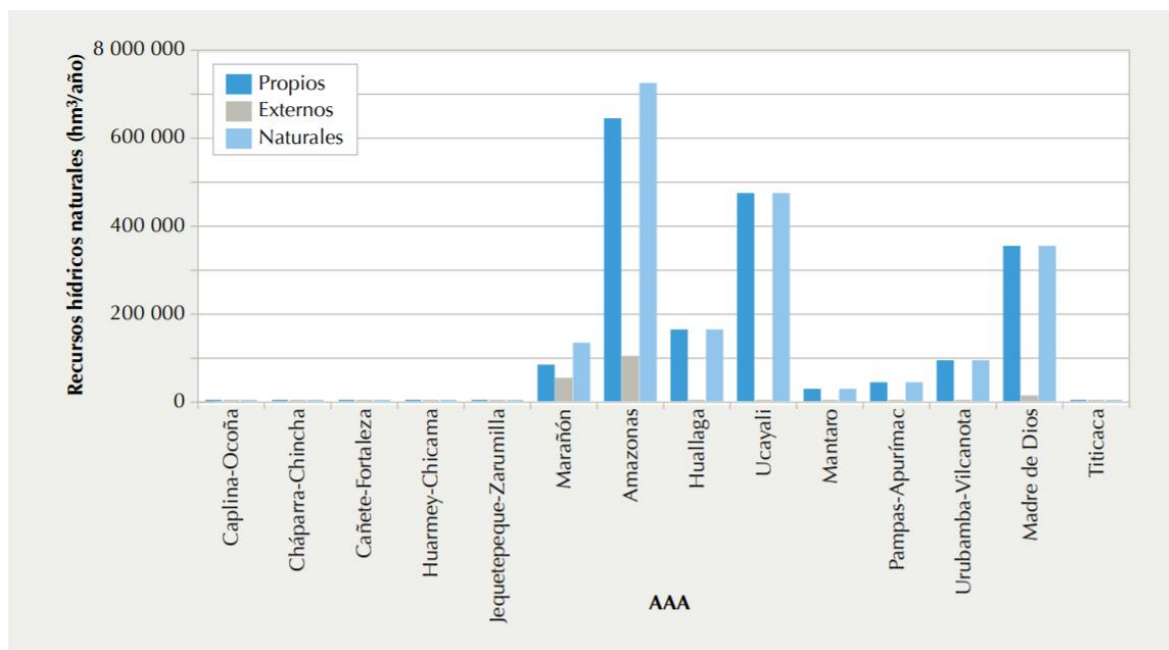
POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS	ESTRATEGIA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS	PROGRAMAS DE MEDIDAS
1. Gestión de la cantidad	1. Mejora del conocimiento de recursos y demandas	1. Implantación de una red hidrometeorológica nacional. 2. Aumento del conocimiento de las aguas subterráneas. 3. Implantación del Sistema Nacional de Información de la Cantidad de Agua.
	2. Mejora de la eficiencia del uso del agua y gestión de la demanda	4. Control y medición de la demanda. 5. Mejoramiento de los sistemas de conducción y distribución del agua. 6. Tecnificación del riego. 7. Ampliación sostenible de la frontera agrícola.
	3. Aumento de la disponibilidad del recurso	8. Incremento de la regulación superficial de los recursos hídricos y de la transferencia de recursos entre cuencas. 9. Reforestación de cabeceras de cuenca. 10. Eliminación de la sobreexplotación de acuíferos. 11. Reuso de aguas residuales tratadas y desalinización de agua de mar.
2. Gestión de la calidad	4. Mejora del conocimiento de la calidad de las aguas	12. Mejora del conocimiento de la calidad de las aguas superficiales.13. Mejora del conocimiento de la calidad de las aguas subterráneas. 14. Supervisión y fiscalización de vertimientos de aguas residuales. 15. Regulación normativa de la calidad de las aguas y buenas prácticas en el uso del agua.
	5. Mejora y ampliación de la cobertura de los servicios de saneamiento	16. Aumento de la cobertura de agua potable. 17. Aumento de la cobertura de alcantarillado 18. Aumento de la cobertura de tratamiento de aguas residuales.
3. Gestión de la oportunidad	6. Implementación de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos	19. Fortalecimiento institucional de la GIRH. 20. Fortalecimiento administrativo de la GIRH. 21. Implementación de la GIRH en cuencas transfronterizas.
	7. Desarrollo de riego y saneamiento en zonas de pobreza	22. Desarrollo de riego y saneamiento en zonas de pobreza.
4. Gestión de la cultura del agua	8. Coordinación institucional y gobernanza hídrica	23. Consolidación de la GIRH 24. Hidrosolidaridad y gobernanza hídrica.
	9. Educación ambiental y cultura del agua	25. Consolidación para una cultura del agua. 26. Comunicación, difusión y sensibilización de actores de la GIRH.
5. Adaptación al cambio climático y eventos extremos	10. Adaptación al cambio climático	27. Mejora del conocimiento de los efectos del cambio climático. 28. Medidas de adaptación al cambio climático.
	11. Gestión del riesgo por eventos extremos	29. Gestión de riesgos de inundación, huaicos y deslizamientos 30. Actuaciones en situación de alerta por sequías.

*Fuente: Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú*

Dentro de la gestión de la cantidad de agua podemos afirmar que la mejora del conocimiento es escasa y muy por el contrario la demanda del recurso cada vez es más alta, lo que lleva a grandes dificultades el poder realizar un balance hídrico. Dificulta también el consentimiento de derecho de uso de agua y la cobranza por el servicio. En la eficiencia del uso de agua la media de abastecimiento de esta es de orden del 45%, por lo que para evitar pérdidas (urbanas y rurales) es necesario adoptar medidas de diversas tipologías como la técnica, económica, administrativa, y cultural.

En cuanto al aumento de disponibilidad del recurso tenemos factores como eliminar la sobreexplotación de los recursos, reuso del recurso hídrico y propuestas ambientales que mejoren la disponibilidad.

**Gráfico 11. Distribución de los recursos hídricos naturales por AAA del pacifico**



*Fuente: Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú*

Dentro de la mejora del conocimiento de los recursos y demandas tenemos a la implementación de la red hidrometeorológica nacional debido a la diversidad climatológica que existe en el país, pues la eres existente contempla múltiples fallos de identificación de códigos de estaciones, distancias entre el registro inicial y final, el mal estado de las estaciones y la falta de control sistemático.

También propone implementar programas como el aumento del conocimiento de aguas subterráneas, implantación del sistema nacional de información de la cantidad, programa de control y medición de la demanda, programa de tecnificación del riego para áreas rurales fundamentalmente.

Tabla 54. Recursos hídricos naturales propios por AAA y persistencia

N.º	AAA	CAUDAL MEDIO (HM <sup>3</sup> /AÑO)	CAUDAL Q <sub>75</sub> (HM <sup>3</sup> /AÑO)	CAUDAL Q <sub>90</sub> (HM <sup>3</sup> /AÑO)
I	Caplina-Ocoña	7 569	4 714	3 641
II	Cháparra-Chincha	2 655	1 054	539
III	Cañete-Fortaleza	6 500	4 279	3 200
IV	Huarmey-Chicama	6 216	3 560	2 642
V	Jequetepeque-Zarumilla	11 196	5 022	3 573
VI	Marañón	118 224	67 635	56 622
VII	Amazonas	708 024	313 798	293 522
VIII	Huallaga	147 451	112 720	89 999
IX	Ucayali	460 797	329 836	250 933
X	Mantaro	14 013	9 762	7 326
XI	Pampas-Apurímac	31 511	22 285	16 759
XII	Urubamba-Vilcanota	81 415	59 180	50 287
XIII	Madre de Dios	333 791	242 632	206 171
XIV	Titicaca	6 259	3 482	2 357
	<b>Total Perú</b>	<b>1 935 620</b>	<b>1 178 163</b>	<b>984 462</b>

*Fuente: Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú*

## V. DISCUSIÓN

- 1) Desde el punto de vista del resultado obtenido para lograr el objetivo 1, la hipótesis específica 1 es válida pues de acuerdo a los datos obtenidos en la simulación de los métodos de pronóstico al año 2050, se determinó la población futura de la Ciudad de Puno tomando la población del método exponencial al igual que en la investigación de Mekonnen pues este el método proporciona un pronóstico de población de acuerdo a la información de la Ciudad de Injibara en la India, ya para América por ejemplo en la investigación de Tavera el empleo el método de crecimiento lineal pues con la información de los últimos cuatro censos del país además de tener datos puntuales de otras entidad como el SANAA que tenía cifras del 2006 y 2009 y comparándolos con sus resultados se asemejaban, por lo que se optó por este método, en Colombia los autores Cañon Alvarado & Mora Alfonso tomaron el promedio obtenido del método lineal y el método geométrico, ya en el Perú Carhuapoma & Chahuayo toman la progresión lineal como proyección de población pues su variación resultante es mínima con respecto a los resultados en los métodos de regresión lineal, exponencial y polinómica comparados al Censo, en el caso de Perleche Otiniano & Tamayo Rodriguez, estos concluyeron su población futura con respecto al método aritmético, que fue usado para sus cálculos posteriores, este método de predicción de poblaciones futuras es el más usado al tratarse de poblaciones pequeñas pues en esas condiciones su margen de error es reducido, para esta condición (poblaciones y áreas pequeñas) el autor Clarke nos presenta una metodología diferente a las estadísticas y geo-demográficas, donde se recopilan datos (variables de uso) de una pequeña área para la construcción de una micro-simulación que sirve de modelo para aplicarlo a mayor escala, esta técnica se usa principalmente en barrios y las principales variables de estudio son: el área de interés (ciudad o distrito), unidad de vivienda (número de miembros de hogar, habitaciones), tamaño de la vivienda, tipo de vivienda (casa o departamento), identificar el nivel sociodemográfico, presencia y ausencia de aparatos que utilicen recurso hídrico, estimado total anual de la demanda de agua doméstica, la micro-simulación obtenida como resultado



de las variables de un hogar promedio tiene el potencial que puede reflejar la dinámica de población y sus atributos.

Así mismo una vez obtenido el pronóstico de la población futura de estudio se procede a hallar las variaciones periódicas como señala Agüero Pittman que nos permitirán suministrar eficientemente el agua a la población, pues cada componente de sistema de abastecimiento debe estar diseñado de tal forma que las cifras obtenidas de consumo generan un funcionamiento eficaz y continuo.

- 2) Analizando el resultado del objetivo 2, la hipótesis específica 2 se valida de acuerdo a las mejoras en el sistema de abastecimiento de agua potable con la mejora y optimización de sus componentes, en la captación tenemos a Gebreegziabher que estudia el procedimiento de evaluación del balance hídrico del lago Awassa por medio de un modelo de hoja de cálculo con variables de estudio climáticas (evaporación mensual, la escorrentía superficial y precipitación), balance hídrico del suelo, balance hídrico de la cuenca, además de coeficientes de cultivo, capacidad hídrica, uso de suelo, profundidad de enraizamiento y retención de agua, la confiabilidad de esta evaluación dependerá de los resultados de estas variables, además la cuantificación precisa niveles o puntos de agua para captación, para la planta de tratamiento desde el punto de vista de Angreni que cita Rietveld (2009) y Makropoulos (2008) la optimización de una planta de tratamiento está estrechamente ligada a la programación dinámica y no lineal que controle el proceso de calidad, el modelo hidráulico, el modelo de control de procesos y el modelo de objeto de campo, enfocado en resolver problemas y calcular relaciones de recurrencia de manera eficiente, así mismo, se puede generar un modelo en diferentes escenarios y simulaciones que cuantifiquen, evalúen, calibren y validen los resultados.

Bhatt & Paneria (2017) hace una recopilación literaria crítica sobre los principales problemas que existen en el sistema de distribución de agua potable. Puust (2015) utilizó para su estudio el software WaterGEMS con

factores como niveles de tanque de agua, influencia de las válvulas, reemplazo o mantenimiento de tuberías para su evaluación que puede ser aplicado a la ciudad de Puno para evaluar principalmente, la calidad, cantidad y presión del agua potable.

Para la mejora de las redes de distribución en infraestructura se recomiendan alternativas de preferencia aquellas que no utilizan zanjas para no restringir el libre tránsito muchas de ellas fueron mencionadas por Aşchilean et al. (2017), muchas de estas pueden ser utilizadas en nuestra ciudad como la CIPP o GFK-Liner, pues estas generan un recubrimiento interior que permite su rehabilitación y funcionamiento.

Además cualquier alternativa factible para el mejoramiento de las redes de distribución están relacionadas estrechamente con la implementación de softwares como lo muestra Gaikwad & Puranik (2015).

En el estudio de Kowalski et al. (2015) para mejorar la calidad de agua por contaminación secundaria tiene la desventaja de la utilización de filtros de alta capacidad y el reducido tamaño de la tubería de la conexión domiciliaria, lo que por falta de presupuesto y tecnología no sería viable para la ciudad de Puno actualmente.

- 3) Analizando el resultado del objetivo 3, la hipótesis específica 3 se valida poniendo en práctica el Plan Nacional de Recursos Hídricos Del Perú (2013), promoviendo la estructura del programa de medidas, sin embargo en la ciudad no existe gran interés de parte ni de la Municipalidad Provincial ni de la Empresa Prestadora del Servicio e incluso de la Autoridad Nacional del agua para enfocarse en realizar de una manera ordenada y satisfactoria cualquiera de los programas antes mencionados, actualmente en la ciudad de Puno solo existe un programa de Educación sanitaria, realizado por la empresa prestadora del servicio, pero esta sólo cuenta con 3 programas anuales, estos son; producción audiovisual e impresa para la sensibilización y difusión de acciones realizadas, programa brigadas escolares y el programa de difusión de acciones realizadas. El Perú a diferencia de Colombia como lo explica Peña-Guzmán et al. (2016) no tiene claro una

legislación que establezca los parámetros que se pueden tomar para la explotación y control del recurso hídrico para su sostenibilidad.

Y aún estamos más atrasados en la implementación de instrumentos y metodologías en las actividades individuales y colectivas que realicen cambios en el recurso como la conservación y ciclo de vida del agua, protección contra la explotación excesiva del recurso y claramente la educación ambiental es totalmente escasa puntos que Arroyave Rojas et al. (2012) considera de suma importancia en la reflexión social sobre la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Por otra parte, la implementación de nuevas tecnologías, recursos y metodologías en la infraestructura del abastecimiento del servicio de agua potable es un concepto que no se ha desarrollado aun en la ciudad de Puno mientras que autores como Valentukevičiene et al. (2011) recomiendan su uso en todos los componentes del sistema, dando paso a la implementación de la ingeniería de producción como recurso fundamental en el diseño de cada componente.

Así mismo la ingeniería como carrera tiene aportes sumamente preciados para la sostenibilidad de los recursos hídricos y no solo como menciona Posada Arrubla et al. (2005) en los ámbitos de ingeniería civil, agrícola, forestal y ambiental, sino que la ingeniería de sistemas con la elaboración de softwares de apoyo contribuyen en gran potencia a este fin, al igual que la ingeniería de producción que se desarrolla principalmente para la obtención de materiales y tecnología de construcción que pueden ser usados de forma eficiente y viable.

## VII. CONCLUSIONES

- 1) El sistema de abastecimiento de agua potable no abastece por completo a la población debido al crecimiento demográfico desordenado y la topografía de la ciudad de Puno.
- 2) Los métodos para la predicción de la población futura están siendo actualizados, corregidos y validados conforme pasan los años, pues vemos como el comportamiento del incremento ha variado en los últimos años, una de las principales causas es la disminución en la natalidad a nivel mundial, mortalidad, y factores de riesgo inesperados como la pandemia mundial a causa del Coronavirus (COVID-19), no siempre se opta por tomar el número más alto correspondientes a los métodos, si no elegir a aquel más cercano al comportamiento real tomado por los censos del lugar de estudio.
- 3) Se deben diseñar plantas de tratamiento de agua cruda de producción dinámica que establezca una mejor solución de tratamiento, optimice la producción y disminuya el personal de operación y mantenimiento.
- 4) La planta de tratamiento de agua potable debe establecerse en la zona alta de la ciudad para abastecer algunos reservorios que funcionen por gravedad, así se disminuirá el costo de re-bombeo (costo de electricidad), esto significa mayor ingreso y reinversión (mejoras en líneas de distribución, conexiones domiciliarias, etc.) a la empresa prestadora del servicio
- 5) Si bien la población busca cada vez más la continuidad del servicio la población ha aceptado esta deficiencia y como solución a este problema la gran mayoría de la población cuenta con un tanque de almacenamiento de agua, y con respecto a la calidad del servicio podemos decir que las fuentes pueden, lamentablemente, estar expuestas a la contaminación por diversas sustancias que no siempre se controlan, lo que pone en peligro la salud de la población.

- 6) El mejoramiento y la rehabilitación de elementos del sistema de abastecimiento de agua potable están condicionadas por las pérdidas que producen, por lo que es necesaria la implementación de un sistema de control que sea capaz de detectar estas fallas y disminuir gradualmente sus pérdidas.

## VI. RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda tener en cuenta que cada método de pronóstico de población futura deberá ser tomado individualmente y el promediar los valores obtenidos nos dará un pronóstico lejano a la realidad.
- 2) Al momento de plantear o diseñar un sistema de abastecimiento de agua potable se recomienda analizar la topografía del área de intervención minuciosamente, pues la distribución del servicio seguirá la trama de la ciudad, las vías existentes y proyectadas debido al rápido crecimiento, lo que generará que la demanda aumente de una forma rápida, el mismo hecho ocasiona que aumente la presión en la red existente, lo que podría desencadenar una brecha entre la cadena de suministro y la población.
- 3) Se recomienda poner mayor interés en la detección de fugas y conexiones ilegales, pues estas pérdidas generan un déficit de agua y a la vez pérdidas para la empresa prestadora del servicio.
- 4) Se recomienda aplicar herramientas informáticas que controlen el sistema ya sea de manera integral o por sectores de trabajo, pues esto ayudará a minimizar fallos y se dará un paso más para alcanzar el concepto de ciudad inteligente.
- 5) Se recomienda que el criterio de seguridad para calidad de la fuente de captación debe ser evaluada periódicamente, pues como ya lo habíamos mencionado las condiciones físico-químicas cambian por factores que intervinieron a través del tiempo.
- 6) Se recomienda establecer programas de acción para la concientización sobre los recursos hídricos y su sostenibilidad como: Promover el enfoque de uso racional y consumo del agua. Reconocer el valor social, económico y ambiental del agua. Gestionar los instrumentos de planificación a corto y mediano plazo. Y Generar alternativas de suministro de agua (sistemas de recolección, reuso y un sistema eficiente de circulación).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüero Pittman, R. (1997). Agua potable para poblaciones rurales sistemas de abastecimiento. In *Agua potable para poblaciones rurales*.  
[https://www.academia.edu/17665537/Agua\\_potable\\_para\\_poblaciones\\_rurales\\_sistemas\\_de\\_abastecimiento](https://www.academia.edu/17665537/Agua_potable_para_poblaciones_rurales_sistemas_de_abastecimiento)
- Ahmad, A., El-Shafie, A., Fatin Mohd Razali, S., & Samba Mohamad, Z. (2014). Reservoir Optimization in Water Resources: a Review. *Water Resources Management*, 28, 3391–3405. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0700-5>
- Angreni, E. (2010). Investigation on optimization of conventional drinking water treatment plant. *ICBEE 2010 - 2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering, Proceedings*, 7(9), 1144–1151. <https://doi.org/10.1109/ICBEE.2010.5652523>
- Apolaya Segura, M. (2015). *Operacionalización de variables*.  
[http://bvsp.er.paho.org/videosdigitales/matedu/2012investigacionsalud/26 de Junio/taller operacionalizacion de variables/20120626Operacionalizacion\\_MoisesApolaya.pdf](http://bvsp.er.paho.org/videosdigitales/matedu/2012investigacionsalud/26%20de%20Junio/taller%20operacionalizacion%20de%20variables/20120626Operacionalizacion_MoisesApolaya.pdf)
- Ariza Cornelio, J. C. (2019). *Diagnóstico y propuesta de mejora del sistema de agua potable de la localidad de Maray, Huaura, Lima-2018* [Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión].  
<http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/2705>
- Arroyave Rojas, J. A., Builes Jaramillo, L. A., & Rodríguez Gaviria, E. M. (2012). La gestión socio-ambiental y el recurso hídrico. *Engineering and Technology*, 1, 40–48.
- Aşchilean, I., Badea, G., Giurca, I., Naghiu, G. S., & Iloaie, F. G. (2017). Choosing the Optimal Technology to Rehabilitate the Pipes in Water Distribution Systems Using the AHP Method. *Energy Procedia*, 112(October 2016), 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1109>
- Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú, 255 (2013).
- Belaineh, G., Peralta, R. C., & Hughes, T. C. (1999). Simulation Optimization

- Modeling for Water Resources Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(3), 154–161.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1999\)125:3\(154\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1999)125:3(154))
- Belén Pedregal, M. (2004). *Estimación de la demanda de agua urbana en los planes marco: el caso español a la luz de la experiencia del Plan Hidrológico de California*. 37, 183–204. <https://idus.us.es/handle/11441/36623>
- Bhatt, B. V., & Paneria, D. B. (2017). Modernization in Water Distribution System. *New Horizons in Civil Engineering (NHCE-2017)*, April, 1–6.
- Cañon Alvarado, D. S., & Mora Alfonso, M. A. (2016). Propuesta de un sistema de abastecimiento de agua potable para el sector c de la vereda basconta en el municipio de icononzo - tolima. In *Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas Facultad De Medio Ambiente Tecnología* (Vol. 1).  
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5375/1/PROYECTO DE GRADO.pdf>
- Carhuancho, I. M., Fernando, M., Nolazco, A., Luis, L., Monteverde, S., Auxiliadora, M., Bejarano, G., Milagritos, K., & Jara, C. (2019). *Metodología para la investigación holística*.  
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3893>
- Carhuapoma, J., & Chahuayo, A. (2019). *Diseño Del Sistema De Abastecimiento De Agua Potable En La Rinconada De Pamplona Alta, Aplicando Epanet Y Algoritmos Genéticos Para La Localización De Válvulas Reductoras De Presión*. <http://hdl.handle.net/10757/626349>
- Clarke, G. P., Kashti, A., McDonald, A., & Williamson, P. (1997). Estimating small area demand for water: A new methodology. *Water and Environment Journal*, 11(3), 186–192. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1997.tb00114.x>
- Concha Huánuco, Juan Y Guillén Lujan, P. (2014). *Mejoramiento Del Sistema De Abastecimiento De Agua Potable ( Caso : Urbanización Valle Esmeralda , Distrito*. <https://doi.org/https://dx.doi.org/>
- Diaz Martínez, F. (2000). *UN NUEVO METODO DE AJUSTE DE LA FUNCION LOGISTICA* (Issue 2). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2282078.pdf>



Reglamento de la calidad del agua para consumo humano, Ministerio de Salud 46 (2011). <https://doi.org/10.1130/micro18-p20>

Florián Pulido, S. B. (2017). *PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE -RDAP- DEL MUNICIPIO DE MADRID, CUNDINAMARCA*.  
<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14520>

Gaikwad, H. A., & Puranik, V. G. (2015). *Automated Urban Water Supply System and Theft Identification*. 6(6 June), 36–44.  
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/47881103/AUTOMATED\\_URBAN\\_WATER\\_SUPPLY\\_SYSTEM\\_AND\\_THEFT\\_IDENTIFICATION-2.pdf?1470649870=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAUTOMATED\\_URBAN\\_WATER\\_SUPPLY\\_SYSTEM\\_AND.pdf&Expires=1623525335&Signature=Yf4JZ3](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/47881103/AUTOMATED_URBAN_WATER_SUPPLY_SYSTEM_AND_THEFT_IDENTIFICATION-2.pdf?1470649870=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAUTOMATED_URBAN_WATER_SUPPLY_SYSTEM_AND.pdf&Expires=1623525335&Signature=Yf4JZ3)

Gebreegziabher, Y. (2004). Assessment of the Water Balance of Lake Assessment of the Water Balance of Lake Awassa [International Institute For Geo-Information Science and Earth Observation Enschede]. In *Geo-Information Science*.  
[https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers\\_2005/msc/wrem/yemane.pdf](https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers_2005/msc/wrem/yemane.pdf)

González-Garcés Santiso, A. (2004). Pesca y desarrollo sostenible. In *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (Vol. 98, Issue 1).  
[https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM\\_IIIESP.pdf](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM_IIIESP.pdf)

Os - 100 Consideraciones Básicas De Diseño De Infraestructura Sanitaria, Reglamento Nacional de Edificaciones 356 (2006).

Jiménez Terán, J. M. (2009). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*.  
<https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>

Kolokytha, E. G., Mylopoulos, Y. A., & Mentis, A. K. (2002). Evaluating demand management aspects of urban water policy - A field survey in the city of

- Thessaloniki, Greece. *Urban Water*, 4(4), 391–400.  
[https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(02\)00024-9](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(02)00024-9)
- Kowalski, D., Kowalska, B., Hołota, E., & Choma, A. (2015). Water Quality Correction Within Water Distribution System. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 22(3), 401–410. <https://doi.org/10.1515/eces-2015-0022>
- Mekonnen, Y. A. (2018). *Population Forecasting for Design of Water Supply System in Injibara Town, Amhara Region, Ethiopia*. 10(10), 54–65.  
[www.iiste.org](http://www.iiste.org)
- Mekonnen, Y. A. (2019). *Assessments of urban domestic water supply challenges in Injibara Town Ethiopia* [Near East University].  
<http://docs.neu.edu.tr/library/6742642304.pdf>
- Compendio Normativo de Saneamiento, 1 Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento 1186 (2018).  
[http://ww3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/Compendio-Normativo.pdf?fbclid=IwAR35dv97oqBxF4cAHIU3knByg\\_WIk0-crvLiG\\_7d4WKtMIs8K9t-brEIP7I](http://ww3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/Compendio-Normativo.pdf?fbclid=IwAR35dv97oqBxF4cAHIU3knByg_WIk0-crvLiG_7d4WKtMIs8K9t-brEIP7I)
- Morales, P. V. (2012). Tamaño necesario de la muestra : ¿ Cuántos sujetos necesitamos ? *Estadística Aplicada a Las Ciencias Sociales*, 20.  
<http://web.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/Tama%F1oMuestra.pdf>
- Peña-Guzmán, C. A., Melgarejo, J., & Prats, D. (2016). El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: Estado actual y desafíos para la sostenibilidad. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(6), 57–71.
- Perleche Otiniano, L. F., & Tamayo Rodriguez, E. A. (2018). *DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y CÁLCULO DE LA POBLACIÓN FUTURA A ATENDER EN EL CASERÍO DE AYANGAY, DISTRITO Y PROVINCIA DE JULCÁN, LA LIBERTAD, 2020 TRABAJO* [Universidad Privada de Trujillo].  
<http://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/78>
- Pietrucha-Urbanik, K., & Żelazko, A. (2017). Approaches to assess water distribution failure. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 61(3), 632–639.  
<https://doi.org/10.3311/PPci.10012>

- Posada Arrubla, A., Saldarriaga Molina, J. C., & Rebolledo, F. (2005). Aportes de la ingeniería a la regulación y sostenibilidad del recurso hídrico. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 4(6), 79–97.
- Rak, J. R., & Pietrucha-Urbanik, K. (2019). An approach to determine risk indices for drinking water-study investigation. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/su11113189>
- Rani, D., & Moreira, M. M. (2010). Simulation-optimization modeling: A survey and potential application in reservoir systems operation. *Water Resources Management*, 24(6), 1107–1138. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9488-0>
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process : planning, priority setting, resource allocation. *Nwe York: McGraw-Hill*, 283.
- Samburskiy, G. A., & Grodzenskiy, S. Y. (2020). Approaches to risk assessment and selection of water treatment technologies to provide consumers with quality drinking water. *Amazonia Investiga*, 9(25), 33–43. <https://www.amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/1024>
- Tavera, M., Pérez García, R., & Joaquin Izquierdo, S. (2013). Metodología para la gestión y planificación de un sistema de agua potable con suministro intermitente: Aplicación a la Ciudad de Tegucigalpa (Honduras). In *Universidad Politécnica De Valencia*.
- Tzatchkov, V., Alcocer Yamanaka, V. H., Arreguin Cortes, F. I., & Feliciano Garcia, D. (2003). Medición y caracterización estocástica de la demanda instantánea de agua potable. *Ingeniería Hidráulica En México*, 10, 67–76. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1236>
- Valentukevičiene, M., Ignatavičius, G., & Amosenkiene, A. (2011). The sustainable development assessment of drinking water supply system. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(4), 688–699. <https://doi.org/10.3846/20294913.2011.649957>
- Vierendel. (2009). *Abastecimiento de agua y alcantarillado* (4ta ed.). <https://drive.google.com/file/d/1IOgrTFall6S01c7dluDGCU5FPK5Oi7Me/view>

Zubaidi, S. L., Ortega-Martorell, S., Al-Bugharbee, H., Olier, I., Hashim, K. S., Gharghan, S. K., Kot, P., & Al-Khaddar, R. (2020). Urban water demand prediction for a city that suffers from climate change and population growth: Gauteng province case study. *Water (Switzerland)*, 12(7), 1–17.  
<https://doi.org/10.3390/W12071885>

## **ANEXOS**