



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

**Modelación hidráulica de la red de agua potable del sistema
rural “Chulco Soroche” del cantón Cuenca, provincia del
Azuay.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

Autores:

HENRRY WILFRIDO LEÓN LOAIZA

PEDRO ALEJANDRO SANTACRUZ PALACIOS

Director:

JOSUÉ BERNARDO LARRIVA VÁSQUEZ

CUENCA-ECUADOR

2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar con mis objetivos.

A mis padres Wilfrido León y Magali Loaiza, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, por sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada me han ayudado a superar cualquier adversidad a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Carlos Luis, Ángel Elías y José Raúl, por su amor, apoyo y paciencia en estos años de estudio.

Henry Wilfrido León Loaiza

Dedico este proyecto de tesis a Dios por estar conmigo en cada paso que doy y ayudarme a cumplir mis metas.

A mis padres Pedro Santacruz y María Elena Palacios por ser mi motivación principal para superarme cada día, por su apoyo, sus consejos y enseñanzas que han aportado a lo largo de toda mi vida.

Pedro Alejandro Santacruz Palacios

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento:

A nuestro director de Tesis Ing. Josué Bernardo Larriva Vásquez, Mst, por brindarnos sus enseñanzas y conocimientos para poder ejecutar este proyecto de titulación.

A los miembros que conforman ETAPA EP, en especial a la Ing. Verónica Chumi Buenaño, ya que su aporte ha sido indispensable para concluir con este trabajo de investigación.

Nuestro agradecimiento también a todos los miembros que conforman la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay, a los profesores y amigos con quienes hemos compartido momentos únicos a lo largo de nuestra preparación universitaria.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	2
Justificación.....	2
Alcance.....	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO I.....	4
CONCEPTOS PRELIMINARES	4
1.1. Información cartográfica del sistema Chulco Soroche:	4
1.2. Redes de abastecimiento de agua potable.....	6
1.3. Hidráulica de tuberías.....	6
1.3.1. Flujo permanente	6
1.3.2. Flujo no permanente:	10
1.4. Aplicación de AutoCAD Civil 3D.....	10
1.5. Aplicación de ArcMap	11
1.6. Aplicación de WaterGEMS	11
1.7. Criterios para la evaluación de una red de distribución	12
1.7.1. Velocidades	12
1.7.2. Presión.....	12
1.7.3. Diámetros	13
1.7.4. Perdidas Unitarias.....	13
CAPÍTULO II	14
RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	14
2.1. Información demográfica	14

2.2.	Información topográfica	15
2.3.	Información catastral	17
2.4.	Dotaciones.....	18
CAPÍTULO III.....		19
MODELACIÓN HIDRÀULICA		19
3.1.	Asignación de propiedades a los elementos hidráulicos	19
3.1.1.	Tanque de almacenamiento	22
3.1.2.	Válvula de aire	22
3.1.3.	Válvula de purga	22
3.1.4.	Válvulas de control.....	23
3.1.5.	Estaciones reductoras de presión	23
3.1.6.	Tuberías.....	23
3.1.7.	Hidrante.....	23
3.2.	Asignación de propiedades utilizando GIS.....	24
3.2.1.	Simbología en la tabla de atributos.....	24
3.2.2.	Áreas de aporte.....	27
3.2.3.	Cálculo de caudales	31
3.3.	Elaboración de los Modelos Hidráulicos en WaterGEMS.....	33
3.3.1.	Parámetros y unidades hidráulicas.....	33
3.3.2.	Información de GIS a WaterGEMS.....	33
3.3.3.	Asignación automática de las elevaciones y las demandas de los nodos	38
3.3.4.	Elección de criterio para modelar	41
3.3.5.	Simulación de funcionamiento para el año 2018, 2023 y 2030.....	42
RESULTADOS.....		45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		49
Conclusiones		49
Recomendaciones.....		50
ANEXOS.....		51
BIBLIOGRAFÍA.....		69

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1.1. Distribución espacial de las parroquias a ser analizadas	4
Figura 1.2. Sectores del sistema de agua potable de Chulco Soroche	5
Figura 1.3. Cargas en los extremos del tubo	7
Figura 1.4. Descarga de agua en una tubería	10
Figura 1.5. Interfaz ArcMap.....	11
Figura 1.6. Rangos de valores de Presión en los nodos	12
Figura 1.7. Rangos de valores de las Perdidas Unitarias en las tuberías	13

CAPITULO II

Figura 2.1. Topografía del Sector Chulco Soroche.....	16
Figura 2.2. Catastro de redes de distribución del sistema de agua potable Chulco Soroche.....	17

CAPITULO III

Figura 3.1. Ventana de ubicación de exportación de los elementos hidráulicos.....	20
Figura 3.2. Ventana de filtración de los elementos hidráulicos	20
Figura 3.3. Ventana de asignación de propiedades	21
Figura 3.4. Ventana para añadir datos.....	24
Figura 3.5. Ventana para abrir tabla de atributos	25
Figura 3.6. Ventana para añadir filas	25
Figura 3.7. Ventana para colocar el nombre de la fila	26
Figura 3.8. Uso de la herramienta Field Calculator	26
Figura 3.9: Configuración de la tabla de atributos de las tuberías	27
Figura 3.10. Herramienta para crear los Polígonos de Thiessen.....	28
Figura 3.11. Cargar archivo Shape.....	28
Figura 3.12. Ubicación de la salida de los Polígonos de Thiessen	29
Figura 3.13. Visualización de los Polígonos de Thiessen en ArcGIS.....	29
Figura 3.14. Ventana de la herramienta Calculate Geometry	30
Figura 3.15. Tabla de las áreas para cada nodo.....	30
Figura 3.16. Ventana de unidades hidráulicas	33
Figura 3.17. Ventana de la herramienta Model Builder.....	34
Figura 3.18. Ventana del Model Builder cargada	34
Figura 3.19. Ventana de opciones de especificación espacial y conectividad	35
Figura 3.20. Ventana de especificación de los campos de mapeo para cada tabla. ...	35
Figura 3.21. Ventana para la creación de un nuevo modelo	36
Figura 3.22 : Tuberías y accesorios cargados	37

Figura 3.23. Ventana de selección de archivo y unidades	38
Figura 3.24. Ventana de nodos con sus elevaciones	39
Figura 3.25. Ventana de métodos disponibles	40
Figura 3.26. Ventana para cargar las demandas.....	40
Figura 3.27. Nodos con sus demandas	41
Figura 3.28. Propiedades de un tanque de reserva	42
Figura 3.29. Propiedades de una válvula de control	42
Figura 3.30. Propiedades de una válvula reductora de presión.....	43
Figura 3.31. Mensaje que no se encontraron problemas.....	43
Figura 3.32. Ventana resumen de los cálculos	44
Figura 3.33. Mapa de la modelación del sector El Guabo para el año 2018.....	44
Figura 3.34. Graficas con porcentaje de nodos	46
Figura 3.35. Graficas con porcentaje de tuberías	47

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO II

Tabla 2.1. Proyecciones de la población.....	14
Tabla 2.2. Cartas topográficas de cada sector.....	15
Tabla 2.3. Cantidad de elementos hidráulicos	18

CAPITULO III

Tabla 3.1. Simbología de los elementos hidráulicos.....	19
Tabla 3.2. Calculo de la densidad poblacional.....	31
Tabla 3.3. Caudales máximos horarios (QMH)	32
Tabla 3.4. Presiones - Sector El Guabo (Resumen).....	45
Tabla 3.5. Pérdidas Unitarias - Sector El Guabo (Resumen).....	46
Tabla 3.6. Tuberías con pérdidas unitarias altas (Resumen).....	47
Tabla 3.7. Tuberías desconectadas.....	48

ÍNDICE DE ANEXOS

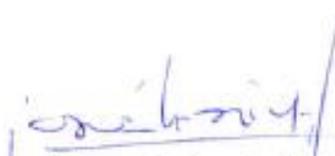
Anexo 1. Presiones - Sector Azhapud.....	51
Anexo 2. Pérdidas Unitarias - Sector Azhapud.....	52
Anexo 3. Presiones - Sector La Dolorosa	53
Anexo 4. Pérdidas Unitarias - Sector La Dolorosa	54
Anexo 5. Presiones - Sector Octavio Cordero	55
Anexo 6. Pérdidas Unitarias - Sector Octavio Cordero	56
Anexo 7. Presiones - Sector Pampas.....	57
Anexo 8. Pérdidas Unitarias - Sector Pampas.....	58
Anexo 9. Presiones - Sector Checa	59
Anexo 10. Pérdidas Unitarias - Sector Checa	60
Anexo 11. Presiones - Sector San José	61
Anexo 12. Pérdidas Unitarias - Sector San José	62
Anexo 13. Presiones - Sector San Pedro	63
Anexo 14. Pérdidas Unitarias - Sector San Pedro.....	64
Anexo 15. Presiones - Sector San Vicente.....	65
Anexo 16. Pérdidas Unitarias - Sector San Vicente.....	66
Anexo 17. Presiones - Sector Sidcay	67
Anexo 18. Pérdidas Unitarias - Sector Sidcay	68

MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE AGUA POTABLE DEL SISTEMA RURAL “CHULCO SOROCHÉ” DEL CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY.

RESUMEN

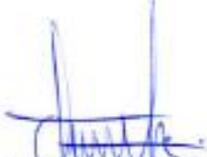
La red de agua potable del sistema rural “Chulco Soroché” del cantón Cuenca, Provincia del Azuay, abastece de líquido vital a las parroquias Octavio Cordero, Sidcay, Llacao, Checa y parte de la parroquia Ricaurte. Este trabajo se enfoca principalmente en realizar la elaboración del modelo hidráulico del sistema, a partir del cual se han realizado simulaciones para diferentes escenarios de funcionamiento, con el fin de evaluar el sistema y proponer mejoras a corto y largo plazo. Para la elaboración del modelo hidráulico se utilizó el software WaterGEMS, alimentado por información topológica a partir del CAD, y de poblaciones y caudales generados en un GIS. El modelo del sistema es una herramienta de planificación para la operación de las redes de distribución administradas por la empresa ETAPA EP.

Palabras clave: Agua potable, sistema rural, modelos hidráulicos, herramientas informáticas.


Josué Bernardo Larriva Vásquez
Director de Tesis


José Fernando Vázquez Calero
Director de Escuela


Henry Wilfrido León Loaiza


Pedro Alejandro Santacruz Palacios

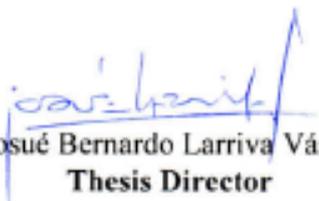
Autores

**HYDRAULIC MODELING OF *CHULCO SOROCHE* RURAL SYSTEM
DRINKING WATER NETWORK; CUENCA CANTON, AZUAY PROVINCE.**

ABSTRACT

The drinking water network of the *Chulco Soroche* rural system in Cuenca, Province of Azuay, supplies water to *Octavio Cordero*, *Sidcay*, *Llacao*, *Checa* parishes and part of *Ricaurte* parish. This research work mainly focused on developing the hydraulic model of the system, from which simulations for different operating scenario have been carried out in order to evaluate the system and propose short and long term improvements. WaterGEMS software fed from CAD topological information and from population density and flows data generated in a GIS, was used to develop the hydraulic model. The system model is a planning tool for the operation of distribution networks managed by the Municipal Company of Telecommunications, Potable Water, Sewage and Wastewater Treatment (ETAPA EP, for its Spanish abbreviation)

Keywords: drinking water, rural system, hydraulic models, IT tools.


Josué Bernardo Larriva Vásquez
Thesis Director

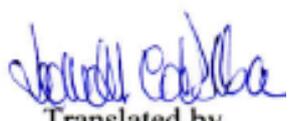

José Fernando Vázquez Calero
School Director


Henry Wilfrido León Loaiza


Pedro Alejandro Santacruz Palacios

Authors


Dpto. Idiomas


Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Henry Wilfrido León Loaiza

Pedro Alejandro Santacruz Palacios

Trabajo de Titulación

Mst. Josué Bernardo Larriva Vásquez

Diciembre, 2017

**MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE AGUA POTABLE DEL
SISTEMA RURAL “CHULCO SOROCHO” DEL CANTÓN CUENCA,
PROVINCIA DEL AZUAY.**

INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua potable se ha convertido en un problema para muchas poblaciones por las condiciones para su obtención y las grandes inversiones que son necesarias para su conducción desde lugares cada vez más lejanos.

En la actualidad, los avances tecnológicos permiten diseñar las redes de distribución de agua potable mediante la utilización de software, los cuales, usando la modelación hidráulica, brindan elementos de juicio para la toma de decisiones en la operación y el mantenimiento de los sistemas y planificar intervenciones o correctivos que requieran los mismos.

Este trabajo de titulación pretende conocer el funcionamiento de la red de distribución de agua potable del sistema “Chulco Sorocho”, el mismo que abastece a las parroquias de Sidcay, Checa, Llacao, Octavio Cordero y parte de la parroquia Ricaurte; usando los estimados de caudal necesario de acuerdo al crecimiento de la población se construirán los modelos hidráulicos para la evaluación de la infraestructura, iniciando con una fase de recolección de datos topográficos, de consumos y valores hidráulicos de los elementos para la construcción del modelo.

Antecedentes

El comité de Derechos Económicos Sociales y Culturales, dependiente de las Naciones Unidas, declara que “el agua es un recurso natural limitado y un bien público primordial para la vida y la salud” (Piñuela, 2016).

El agua potable es una necesidad muy importante para la humanidad, en Ecuador en el año de 1949 ya era obligación de las municipalidades prestar servicios de agua potable, pero no todas lo hacían. Es por eso que buscan apoyo internacional y a fines de los años cuarenta con el gobierno de los Estados Unidos se implementó el diseño, construcción y mejoramiento de los sistemas de agua potable de las principales ciudades del Ecuador. En el año 1999 en todo el país hubo un incremento de las coberturas de agua potable, en zonas urbanas con el 82% y rurales con el 39%. (Ordóñez Martínez, 2007).

La Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca ETAPA EP es la encargada del abastecimiento de agua potable en el cantón Cuenca. En estos momentos, la empresa cuenta con un total de 21 plantas de potabilización generando una cobertura de agua potable en sector rural que llega al 92.64% de la población y al sector urbano al 97,86%, entre el rural y el urbano se llega al 96,94%, siendo la mejor cobertura que existe en el país. Además, la empresa actualmente desarrolla modelos hidráulicos de los sistemas que abastecen tanto a los sectores rurales como urbanos de la ciudad, y con este trabajo se elaborará el modelo hidráulico del sistema “Chulco Soroche”.

Actualmente el sistema “Chulco Soroche” se abastece por el río Chulco, una fuente superficial que se encuentra a una cota de 3,150.836 msnm, tiene un caudal mínimo de 0.156 m³/s y un caudal máximo de 40.7 m³/s en un periodo de 10 años (ETAPA EP, 2017).

Justificación

Actualmente no se cuenta con un modelo hidráulico del sistema completo, debido a que durante la fase de construcción se incluyeron redes que correspondían a sistemas antiguos, fue necesario reubicar cierta infraestructura y no se construyeron todas las tuberías diseñadas. Con la modelación hidráulica del sistema de agua potable

“Chulco Soroche” se evaluará el estado de funcionamiento actual de dicho sistema, con el fin de encontrar diferentes propuestas para mejorar el desempeño futuro de la red.

Alcance

En base a los catastros disponibles y mediante la elaboración de los modelos hidráulicos de los diferentes sectores, se espera tener un prototipo del sistema de agua potable de Chulco Soroche, el cual abarca diferentes parroquias como Octavio Cordero, Sidcay, Llacao, Checa y Ricaurte. A medida que se vayan realizando ampliaciones de la red de distribución de agua, los modelos también se pueden ir actualizando en base a catastros aprobados por ETAPA EP.

Objetivos

Objetivo General

Elaborar el modelo hidráulico para los sectores que comprenden el sistema de distribución de agua potable del sistema “Chulco Soroche” del cantón Cuenca, provincia del Azuay.

Objetivos Específicos

- Recopilar y organizar la información básica como es la topografía del terreno, la proyección poblacional y la topología de la red.
- Elaboración de los modelos hidráulicos y valoración del funcionamiento de los mismos para diferentes escenarios.
- Determinación de zonas con problemas y propuestas de mejoramiento.

CAPÍTULO I

CONCEPTOS PRELIMINARES

1.1. Información cartográfica del sistema Chulco Soroche:

El sistema Chulco Soroche está ubicado al noreste de la ciudad de Cuenca, comprende una parte de las parroquias Checa, Octavio Cordero, Ricaurte, Llaqueo y la parroquia de Sidcay en su totalidad como se muestra en la figura 1.1. La cota máxima de este sector es de 3320 msnm y la mínima de 2420 msnm. El clima de las diferentes parroquias de este sector es muy diverso, presenta épocas frías y calientes. La mayoría de viviendas que se pueden encontrar son casas y villas.

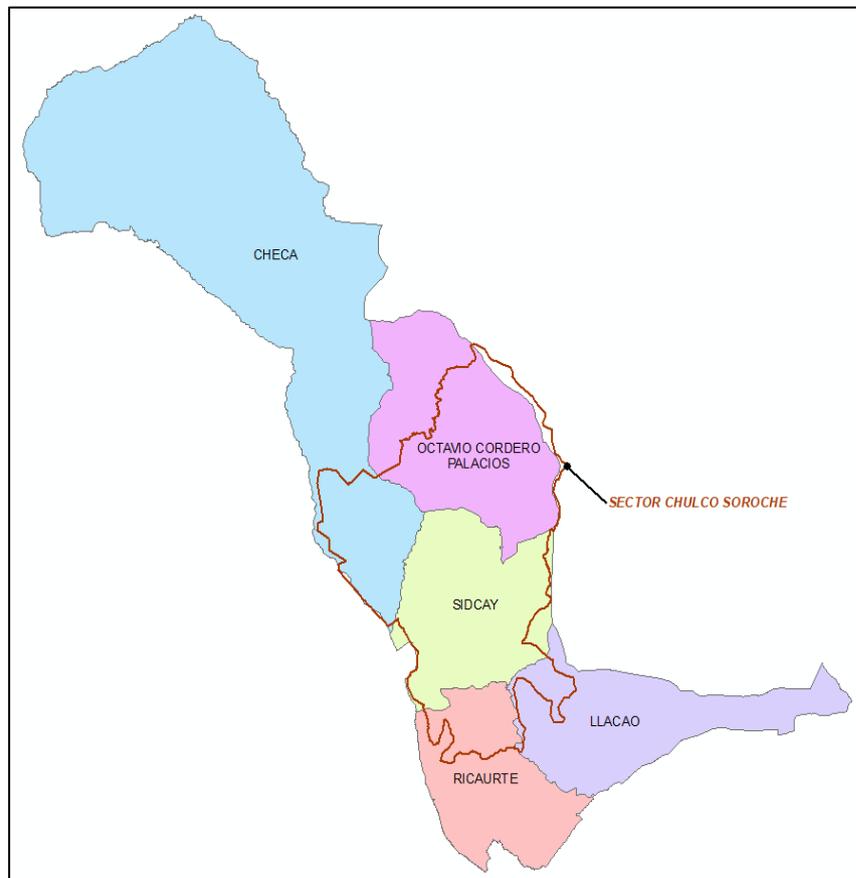


Figura 1.1. Distribución espacial de las parroquias a ser analizadas

Fuente: autor

El sistema Chulco Soroche esta comprendido por 10 sectores como se muestra en la figura 1.2.

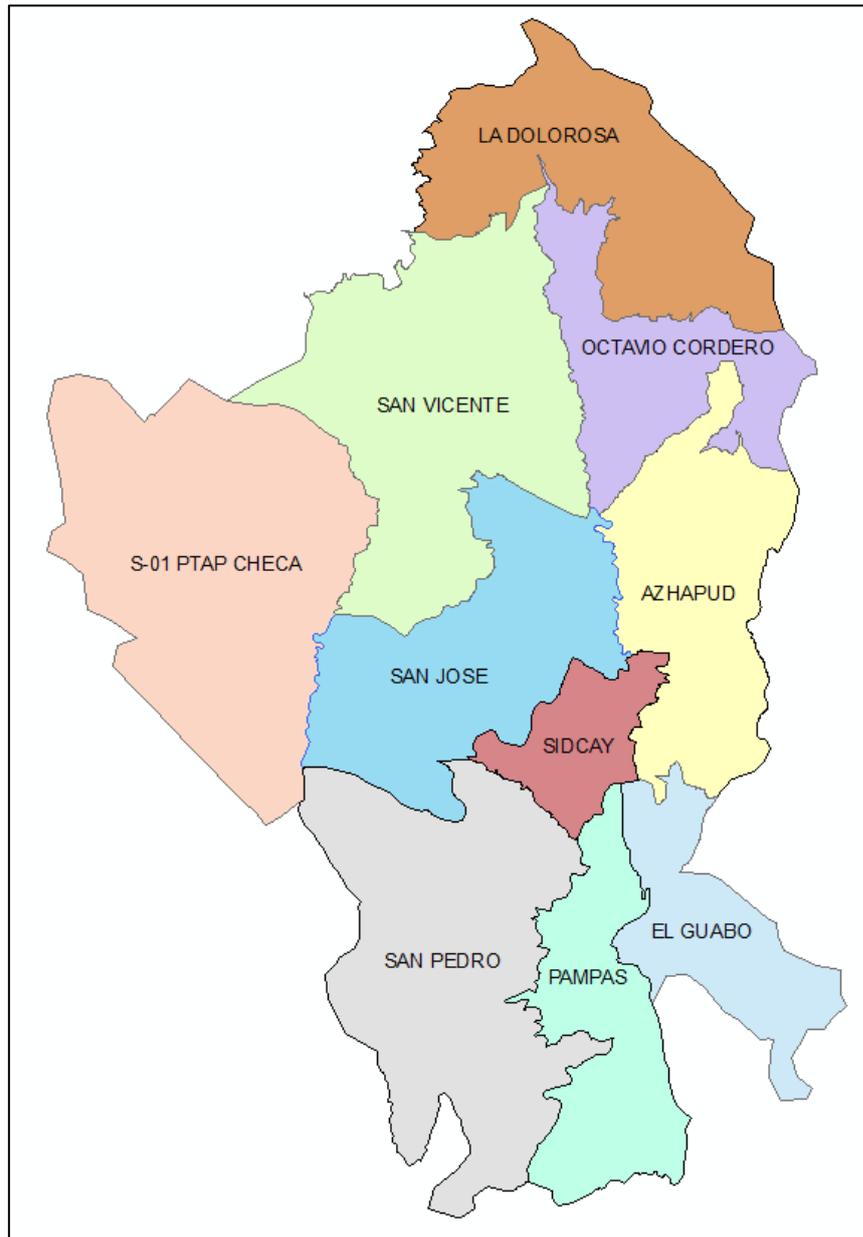


Figura 1.2. Sectores del sistema de agua potable de Chulco Soroche

Fuente: autor

1.2. Redes de abastecimiento de agua potable

Una red de abastecimiento de agua potable es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde la planta hasta las tomas domiciliarias o hidrantes públicos. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, comercial, público, industrial y para condiciones extraordinarias como el extinguir incendios (Comisión Nacional del Agua, 2007).

1.3. Hidráulica de tuberías

Para la modelación y evaluación de sistemas de agua potable es importante conocer los conceptos y formulas básicas de flujo permanente y flujo no permanente.

1.3.1. Flujo permanente

Un flujo es permanente cuando las propiedades de un fluido y las condiciones del movimiento del mismo no varían en un punto con respecto al tiempo (V. Giles, 1994).

$$\frac{d\rho}{dt} = 0 \quad ; \quad \frac{dP}{dt} = 0 \quad ; \quad \frac{dV}{dt} = 0 \quad ; \quad \frac{dZ}{dt} = 0 \quad ; \quad \frac{dT}{dt} = 0 \quad (1)$$

Dónde:

ρ = Densidad

P = Presión

V = Velocidad media

Z = Posición respecto a una referencia

T = Temperatura

Para este tipo de flujo es necesario determinar las cargas y las pérdidas que se obtienen de los principios de la conservación de la energía y de la masa.

Ecuación general de la conservación de la energía

El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la ley de la conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería a presión como se muestra en la figura 1.3 (Crane, 1987).

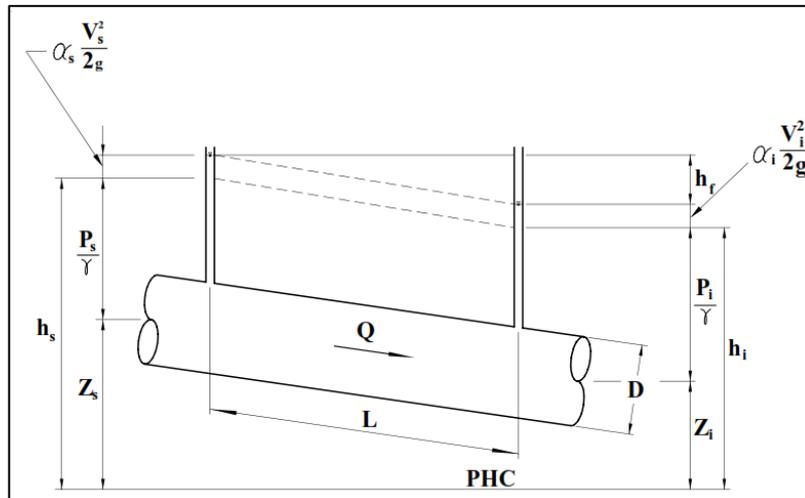


Figura 1.3. Cargas en los extremos del tubo

Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2007)

$$Z_s + \frac{P_s}{\gamma} + \frac{V_s}{2g} = Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i}{2g} + hf \quad (2)$$

Dónde:

Z = Elevación (m)

P = Presión (kPa)

V = Velocidad media (m/s)

γ = Peso específico del agua (kN/m³)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

hf = Pérdida de carga por rozamiento (N*m/N)

Ahora se aplican las siguientes igualdades:

$$h_s = Z_s + \frac{P_s}{\gamma} \quad (3)$$

$$h_i = Z_i + \frac{P_i}{\gamma} \quad (4)$$

Remplazando estas ecuaciones en la ecuación 2, se tiene:

$$h_s + \frac{V_s}{2g} = h_i + \frac{V_i}{2g} + hf \quad (5)$$

Si las secciones transversales son iguales, se aplica el principio de continuidad $A_s V_s = A_i V_i$, consecuentemente las velocidades que se obtendrán en estas dos secciones serán las mismas. Además, la ecuación 5 quedará de la siguiente forma:

$$hf = h_s - h_i \quad (6)$$

Esta ecuación indica que la pérdida de carga hf es igual a la disminución de carga que se da a lo largo de la longitud de la tubería L entre las partes analizadas.

Formula de Darcy-Weisbach

El procedimiento que realiza el software WaterGEMS es primero calcular un factor de fricción con la ecuación de Swamee y Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{s/D}{3.71} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right) \right]^2} \quad (7)$$

Dónde:

f = Factor de fricción

s = Medida del tamaño de las proyecciones de la rugosidad

D = Diámetro

Re = Numero de Reynolds (Para flujo laminar se utiliza $Re < 2000$, y para flujo turbulento $Re > 4000$)

Luego para determinar un factor de fricción más preciso realiza una iteración mediante la ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 \ln \left(\frac{s/D}{3.7} + \frac{2.523}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (8)$$

Dónde:

f = Factor de fricción calculado con Swamee y Jain

s = Medida del tamaño de las proyecciones de la rugosidad

D = Diámetro

Re = Numero de Reynolds (Para flujo laminar se utiliza $Re < 2000$, y para flujo turbulento $Re > 4000$)

Y por último utiliza la fórmula de Darcy-Weisbach para determinar las pérdidas de carga: (Ortiz Vidal, Cabanillas Maury, & Fierro Chipana, 2010).

$$h = f \frac{L.V^2}{D.2g} \quad (9)$$

Dónde:

h = Perdida de carga

L = Longitud

V = Velocidad

f = Factor de fricción

D = Diámetro

g = Aceleración de gravedad

1.3.2. Flujo no permanente

Este tipo de flujo se da cuando hay variación en las características hidráulicas a lo largo del tiempo. Por ejemplo, al tener una descarga de una tubería considerando cualquier sección de la misma y el nivel de superficie libre es variable, el caudal, la presión y la velocidad también van a variar con el tiempo como se observa en la figura 1.4.

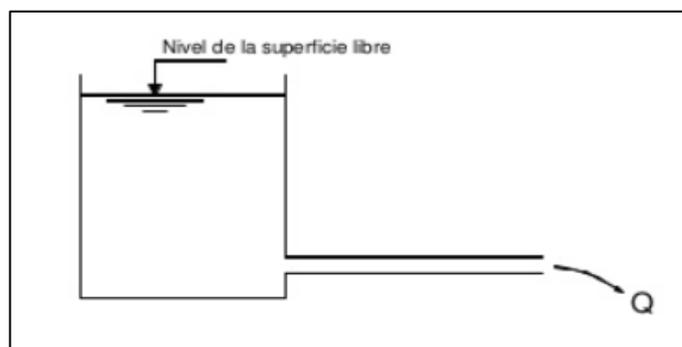


Figura 1.4. Descarga de agua en una tubería

Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2007)

Otra representación del flujo no permanente es el denominado “golpe de ariete”, se da cuando se cierra bruscamente una válvula produciendo una onda de sobrepresión aguas arriba en una tubería, es decir, las condiciones hidráulicas son variables con el tiempo (Rocha Felices, 2007).

1.4. Aplicación de AutoCAD Civil 3D

AutoCAD Civil 3D es una herramienta primordial para la ingeniería civil, permite evaluar escenarios hipotéticos y optimizar los rendimientos de un proyecto. Para topografía se puede crear, de manera automatizada, figuras de topografía y superficies permitiendo editarlas en cualquier momento. Cuenta con otras funciones como modelado de obra lineal, cálculo de movimiento de tierras, diseño geométrico, planos de producción, generación de informes y para el caso de tuberías facilita en la combinación de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial. Facilita con los planos de las vistas en planta, perfiles longitudinales y las secciones de la red de tuberías añadiendo información como el material y tamaño de las mismas (Otter, 2010).

1.5. Aplicación de ArcMap

ArcMap es la aplicación central utilizada en el software ArcGIS donde se visualiza y exporta los conjuntos de datos SIG y donde asigna símbolos y crea los diseños de mapa para publicar e imprimir. ArcMap representa la información geográfica como una colección de capas y otros elementos en una vista de mapa.

Entre sus principales funciones están: trabajar con mapas, imprimir mapas, utilizar geoprocésamiento para automatizar el trabajo y realizar el análisis, documentar la información geográfica, presentación de resultados utilizando datos estadísticos (ArcGIS, 2017).

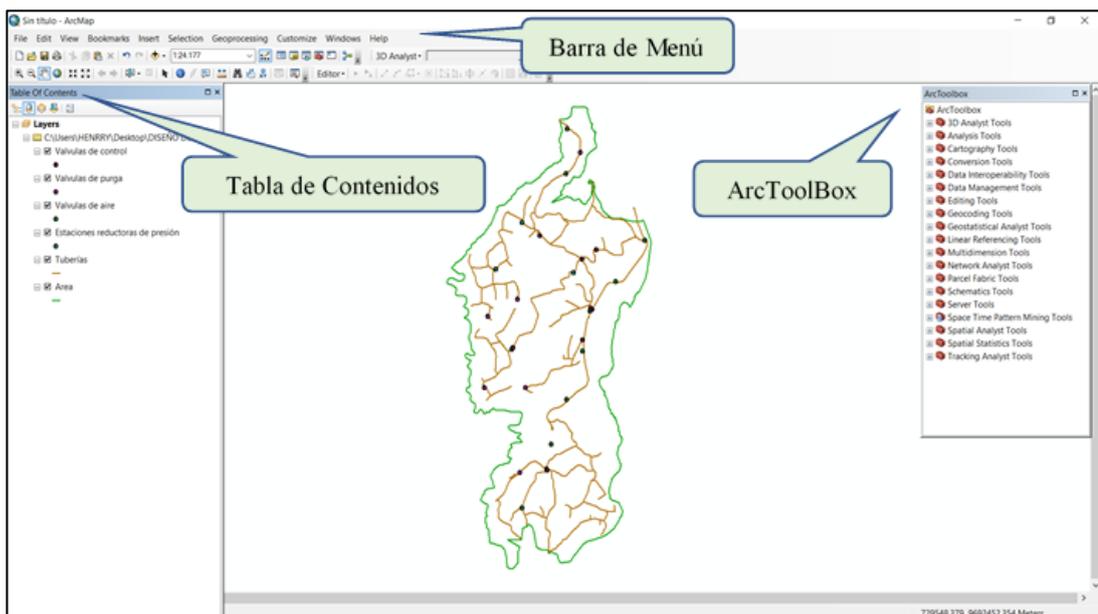


Figura 1.5. Interfaz ArcMap

Fuente: autor

1.6. Aplicación de WaterGEMS

WaterGEMS es un software que ayuda a mejorar el conocimiento sobre el funcionamiento de una red de distribución de agua, la forma en que reacciona ante las estrategias operativas y cómo debe crecer a medida que aumente la población y los consumos. WaterGEMS permite simulaciones de caudal para extinguir incendios, calidad del agua, hasta el análisis de costos energéticos (Bentley Systems Incorporated, 2017).

WaterGEMS proporciona numerosas herramientas de software para:

- Planificación inteligente para la fiabilidad del sistema

- Operaciones optimizadas para eficiencia del sistema
- Soporte fiable a las decisiones sobre renovaciones de activos para la sustentabilidad del sistema

1.7. Criterios para la evaluación de una red de distribución

1.7.1. Velocidades

El caudal de la red de agua potable debe tener una velocidad mínima de 0.4 m/s y una velocidad máxima de 3 m/s, recomendable mantener una velocidad media de 1,5 m/s (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07 - 601, 1992).

1.7.2. Presión

En las condiciones más desfavorables de la red se considera una presión mínima de 10 m.c.a, pero si el proyecto trata de abastecerse mediante un grifo público la presión puede ser de 5 m.c.a. La presión estática máxima deberá ser de 70 m.c.a y la dinámica de 50 m.c.a. (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07 - 601, 1992).

Con el objetivo de hacer una modelación más didáctica en el programa WaterGEMS se ha colocado rangos de valores de presión con su respectivo color como se muestra en la figura 1.6.

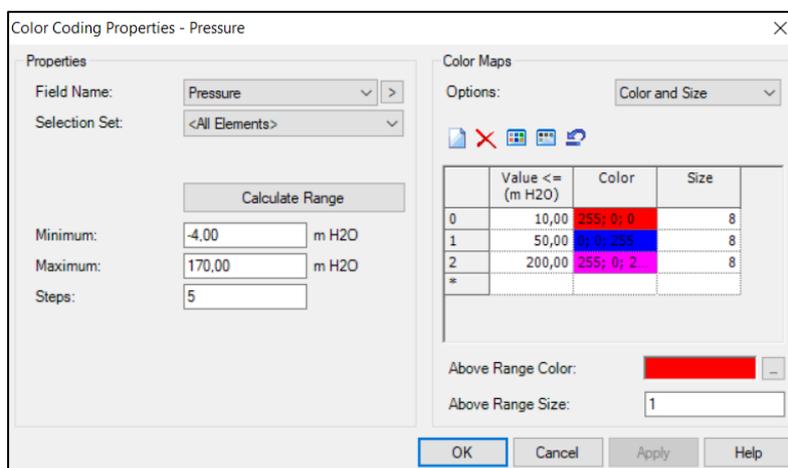


Figura 1.6. Rangos de valores de Presión en los nodos

Fuente: autor

1.7.3. Diámetros

Para las tuberías de la red se permite un diámetro nominal mínimo de 19 mm, es decir, de $\frac{3}{4}$ " (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07 - 601, 1992).

1.7.4. Pérdidas Unitarias

Propiedad del elemento tubería que describe las tasas de pérdida de energía por longitud de tubería.

Se recomienda que las pérdidas unitarias no deben exceder de 12 m/Km

Así mismo como se hizo en las presiones también en el programa WaterGEMS se ha colocado rangos de valores de pérdidas unitarias con su respectivo color como se muestra en la figura 1.7.

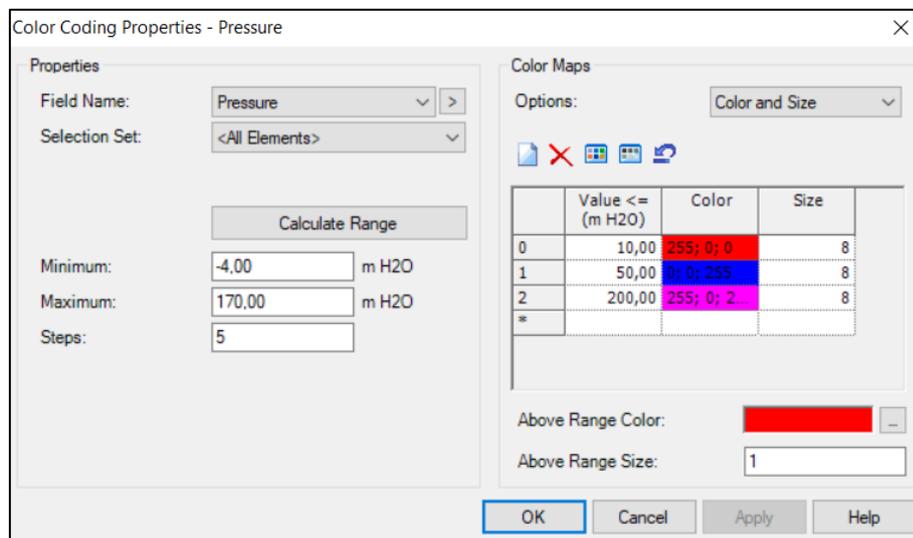


Figura 1.7. Rangos de valores de las Pérdidas Unitarias en las tuberías

Fuente: autor

CAPÍTULO II

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

2.1. Información demográfica

Es importante conocer la cantidad de habitantes a los que se les va a prestar el servicio de agua potable, es por eso que se requiere hacer un estudio de la densidad poblacional para cada sector correspondiente al sistema “Chulco Soroche”. Esta información se obtuvo de los “Estudios y Diseños Definitivos de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca. II Etapa” realizado por ETAPA EP. Se considera el número de habitantes del año 2018 y se realiza una proyección para el año 2023 y 2030 calculado por el método TED (Tasa Exponencial Decreciente), utilizando una tasa geométrica de 1.677%. Los datos se presentan en la tabla 2.1

Tabla 2.1. Proyecciones de la población

POBLACIONES PROYECTO				
AÑO	POBLACIÓN	COBERTURA	POBLACIÓN	VIVIENDAS
	PROYECTADA		SERVIDA	SERVIDAS
2003	12137	82%	9983	2698
2004	12270	83%	10129	2737
2005	12404	83%	10274	2777
2006	12583	83%	10456	2826
2007	12762	83%	10638	2875
2008	12941	84%	10820	2924
2009	13120	84%	11002	2974
2010	13299	84%	11184	3023
2011	13517	84%	11382	3076
2012	13735	84%	11579	3130
2013	13953	84%	11777	3183
2014	14171	84%	11974	3236
2015	14388	85%	12171	3290
2016	14641	85%	12401	3352
2017	14893	85%	12631	3414
2018	15146	85%	12860	3476
2019	15399	85%	13090	3538
2020	15651	85%	13320	3600
2021	15943	85%	13586	3672
2022	16235	85%	13853	3744
2023	16527	85%	14119	3816
2024	16818	86%	14385	3888
2025	17110	86%	14652	3960
2026	17446	86%	14960	4043
2027	17783	86%	15268	4127
2028	18119	86%	15576	4210
2029	18455	86%	15885	4293
2030	18791	86%	16193	4376

Fuente: (ETAPA EP)

2.2. Información topográfica

La topografía permite tener datos más reales y precisos de la red de agua potable y así poder analizar la altimetría y planimetría de la red en cada sector. Con las curvas de nivel se puede determinar las pendientes de las tuberías para establecer la dirección del flujo del agua y así obtener la velocidad, el caudal y la presión del mismo. Para el sistema “Chulco Soroche” las curvas de nivel de cada sector han sido provistas en su mayoría por parte de ETAPA EP como se muestra en la tabla 2.2 en la cual se describe las cartas topográficas, escala y separación de las mismas.

Tabla 2.2. Cartas topográficas de cada sector

SECTORES	Cartas Topográficas	Escala	Separación (m)
AZHAPUD	af27_5K ; af28_5K ; af29_5K ; ag27_5K ; ag28_5K ; ag29_5K	1:5000	2
EL GUABO	af29_5K ; af30_5K ; ag30_5K ; ag31_5k	1:5000	2
LA DOLOROSA	af26_5K ; af27_5K ; ag27_5K	1:5000	2
OCTAVIO CORDERO	af26_5K ; af27_5K ; af28_5K ; ag27_5k ; ag28_5k	1:5000	2
PAMPAS	C_N_Azoges_50k ; C_N_Gualaceo_50k	1:50000	40
CHECA PTAP S-01	ad27_5K ; ad28_5K ; ad29_5K ; ae27_5K ; ae28_5K ; ae29_5K	1:5000	2
SAN JOSÉ	ae29_5K ; af28_5K ; af29_5K	1:5000	2
SAN PEDRO	C_N_Azoges_50k ; C_N_Gualaceo_50k	1:50000	40
SAN VICENTE	ae27_5K ; ae28_5K ; af27_5K ; af28_5k	1:5000	2
SIDCAY	af29_5K ; af30_5K	1:5000	2

Fuente: (ETAPA EP)

En la figura 2.1 se observa cómo están distribuidas las curvas de nivel en el sistema Chulco Soroche.

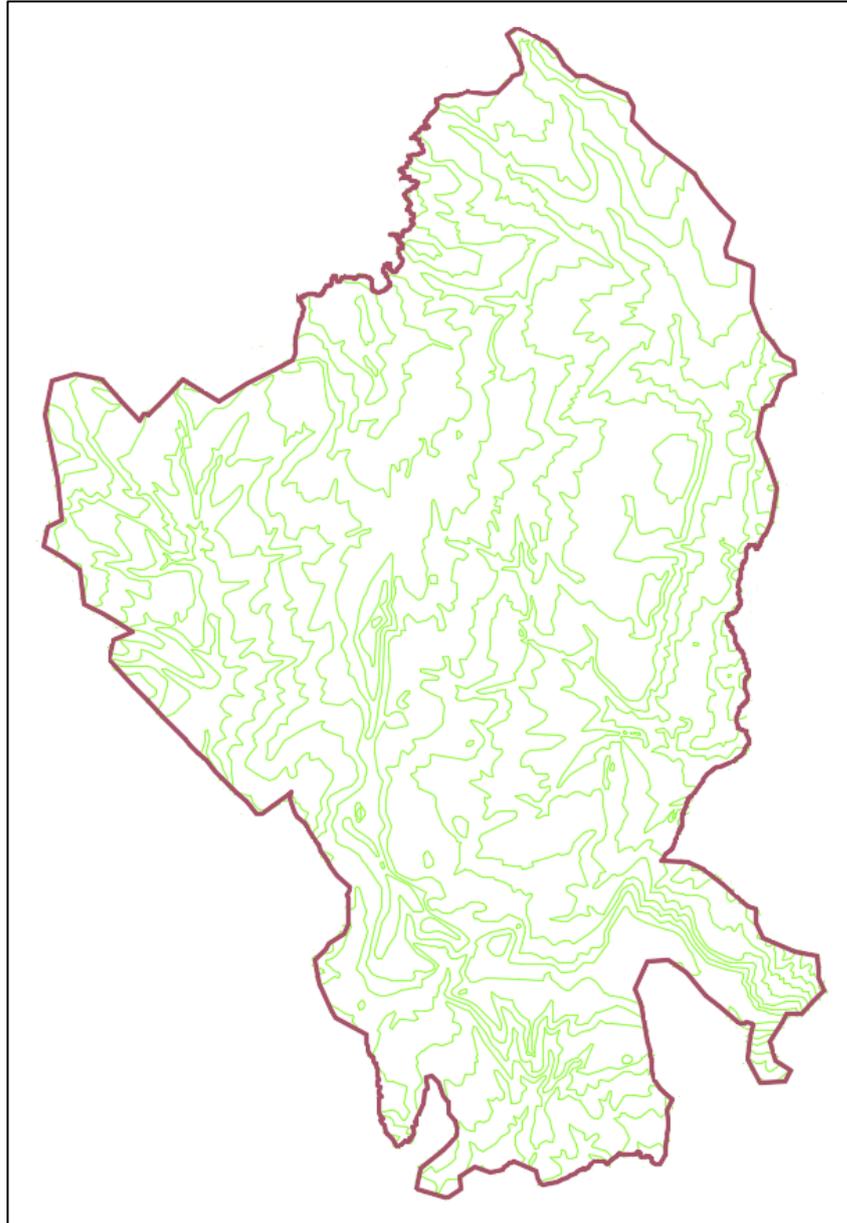


Figura 2.1. Topografía del Sector Chulco Soroche

Fuente: (ETAPA EP)

2.3. Información catastral

El catastro de redes del sistema “Chulco Soroche” elaborado por ETAPA EP, presenta la distribución de las tuberías y los accesorios en cada sector correspondiente a este sistema como se observa en la figura 2.2.

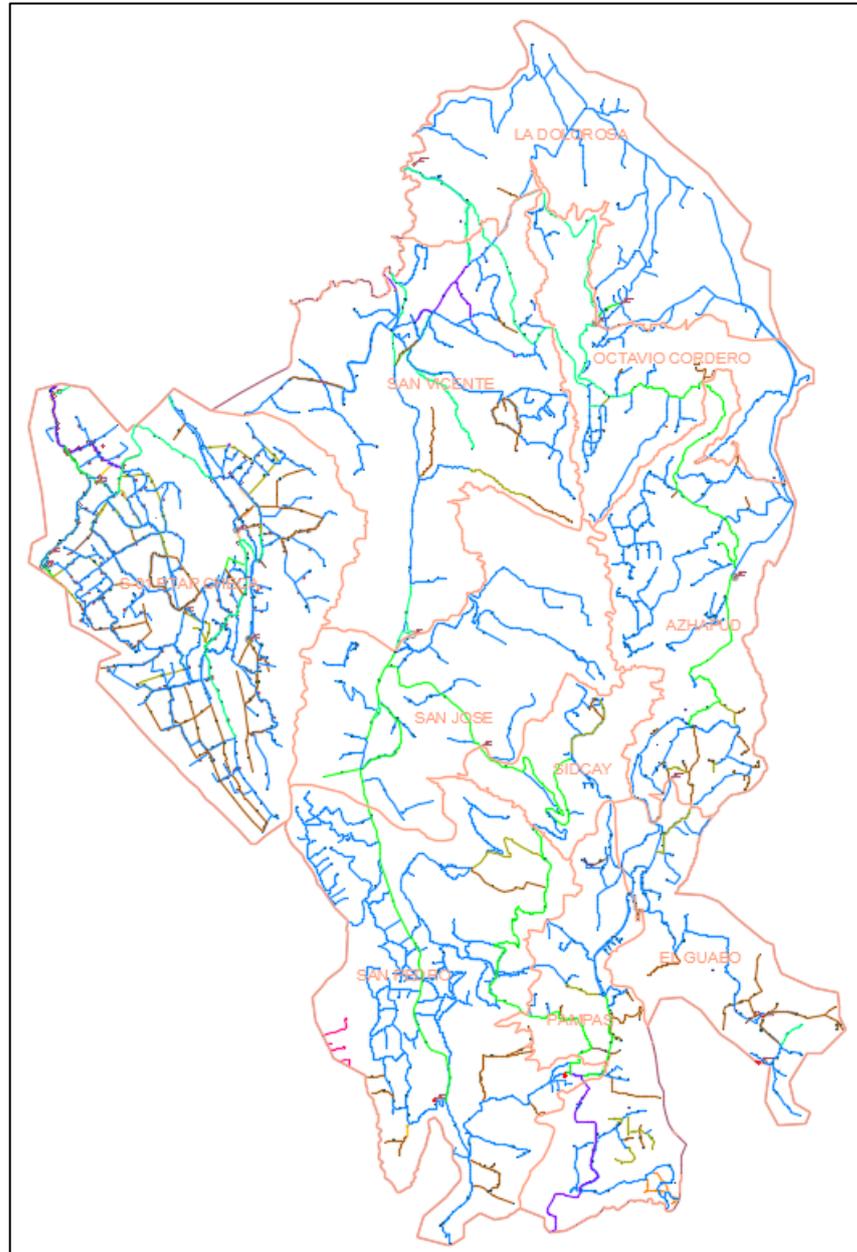


Figura 2.2. Catastro de redes de distribución del sistema de agua potable Chulco Soroche

Fuente: (ETAPA EP)

Se ha realizado un conteo del total de las tuberías, válvulas de control, válvulas de purga y estaciones reductoras de presión el cual se presenta en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Cantidad de elementos hidráulicos

SECTORES	Válvulas de Aire	Válvulas de Purga	Válvulas de Control	Estaciones reductoras de Presión	Hidrantes	Tuberías
AZHAPUD	9	7	8	5	0	127
EL GUABO	3	2	10	1	0	79
LA DOLOROSA	0	0	0	0	0	67
OCTAVIO CORDERO	1	3	3	0	0	61
PAMPAS	0	4	13	0	0	111
CHECA PTAP S-01	32	2	39	13	0	403
SAN JOSÉ	2	6	6	0	0	37
SAN PEDRO	3	2	25	0	0	185
SAN VICENTE	4	4	6	5	0	116
SIDCAY	1	0	6	0	0	36
TOTAL	55	30	116	24	0	1222

Fuente: autor

2.4. Dotaciones

Se utilizará una dotación de 200 lt/hab/día. Esta dotación se la tomó de los “Estudios y Diseños Definitivos de los Planes maestros para Saneamiento y Agua Potable para la ciudad de Cuenca II Etapa”.

CAPÍTULO III

MODELACIÓN HIDRÁULICA

3.1. Asignación de propiedades a los elementos hidráulicos

Los principales elementos hidráulicos utilizados en una red de distribución de agua son: tanques de almacenamiento, válvulas, estaciones reductoras de presión, tuberías e hidrantes. La tabla 3.1 muestra la simbología de los elementos hidráulico con su respectiva descripción.

Tabla 3.1. Simbología de los elementos hidráulicos

Símbolo	Descripción
	Tanque de almacenamiento
	Válvula de aire
	Válvula de purga
	Válvula de control
	Estación reductora de presión
	Tubería
	Hidrante

Fuente: Formato Catastros de Agua Potable y Alcantarillado ETAPA EP

- 1) Se revisa que toda la red este unida, que no existan tuberías sueltas ni válvulas desconectadas.
- 2) Se escribe el comando *Mapexport* en la barra de comandos del AutoCAD Civil 3D, y se presiona *enter* y aparecerá la siguiente ventana. Este comando sirve para convertir los elementos hidráulicos a formato *Shapefile* y así poder trabajar más adelante en el ArcGIS.

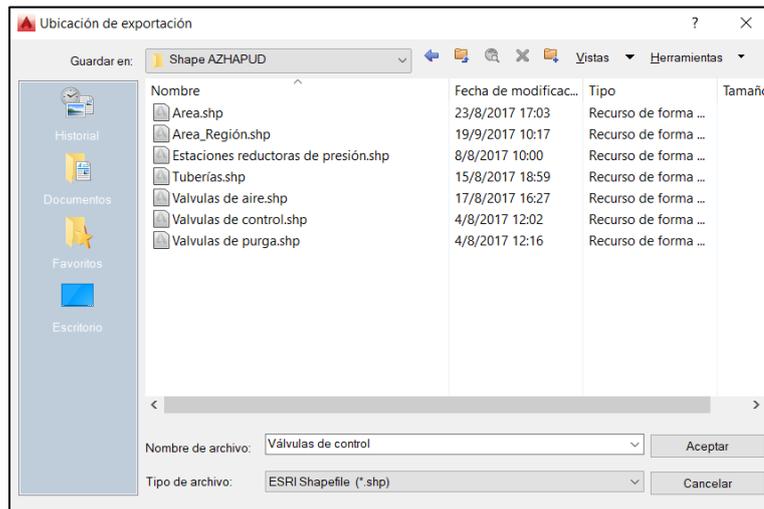


Figura 3.1. Ventana de ubicación de exportación de los elementos hidráulicos

Fuente: autor

- 3) Se asigna un nombre al elemento hidráulico que corresponda, por ejemplo, si se va a exportar las válvulas de control se coloca el nombre del archivo como “Válvulas de control”. Luego se guarda el archivo tipo ESRI Shapefile en la ubicación deseada y se presiona *enter*, luego aparece la siguiente ventana:

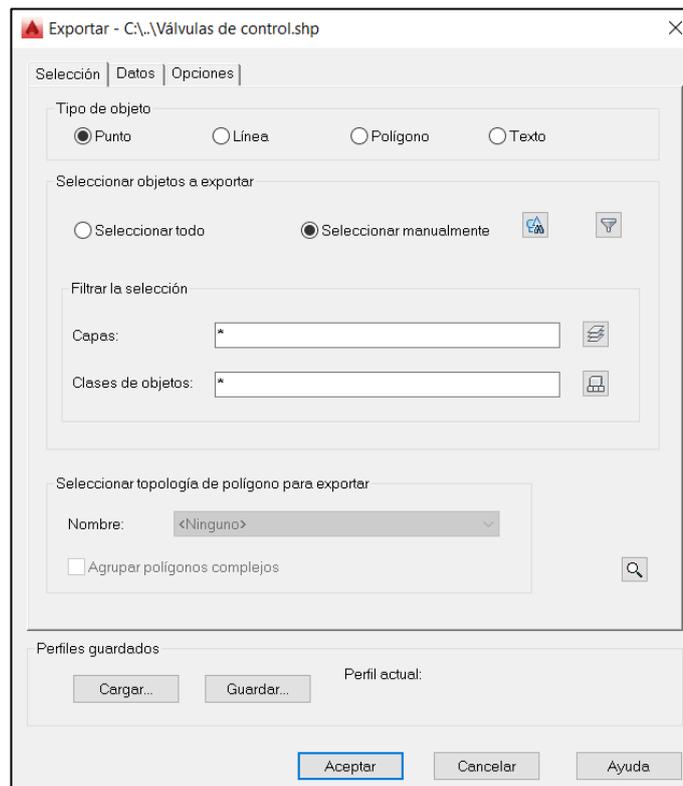


Figura 3.2. Ventana de filtración de los elementos hidráulicos

Fuente: autor

4) Se selecciona el tipo de objeto:

- Para válvulas y estaciones reductoras de presión: Punto
- Para tuberías: Línea
- Para áreas: Polígono

Luego se selecciona los objetos a exportar a través de una selección manual y después se ubica en la pestaña Datos la cual abrirá la siguiente ventana.

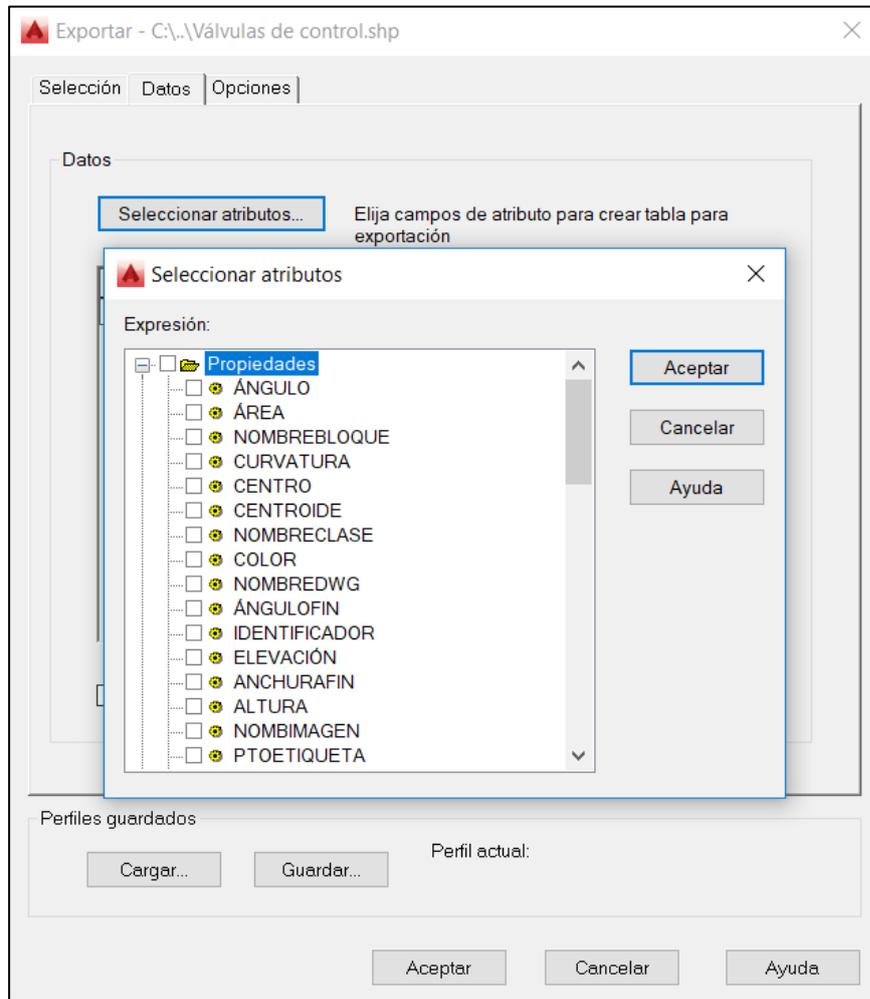


Figura 3.3. Ventana de asignación de propiedades

Fuente: autor

5) Seleccionar las propiedades de los diferentes elementos hidráulicos como se describe a continuación:

- Para válvulas: “Des_Sis, Des_Sect, Tip_Val, Des_Val, Obs_Val, Dia_Val”.
- Para estaciones reductoras de presión: “Dia_Entra, Dia_Sal, Pre_Entra, Pre_Sal, Des_Sis, Des_Sec, Obs”.

- Para tuberías: “Diámetro, Material, Sectores, Sistemas, Longitud, X1, X2, Y1, Y2”.

- Para áreas: “Ehandle, Sectores, Sistema”.

Luego se presiona *enter* en aceptar y ya se crean los archivos formato shapefile para poder trabajar en ArcMap y WaterGEMS.

3.1.1. Tanque de almacenamiento

Es un depósito cerrado el cual cuenta con una provisión de agua para distribuir por la red hacia los diferentes puntos cubriendo las variaciones horarias de consumo, así como la demanda para combatir incendios y para el caso de emergencias. Su ubicación será donde la topografía permita minimizar el costo y se encuentre cerca de la población. La altura mínima del tanque será de 2.5 m sumándole una altura libre de 0.3 m (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07 - 601, 1992).

3.1.2. Válvula de aire

Permite expulsar el aire durante los procesos de llenado inicial al igual que al momento de producirse una suspensión de flujo, con esto se logra un llenado rápido y sin pulsaciones de flujo. Por otra parte, si se produce una rotura de la tubería esta válvula se encarga de admitir aire para evitar vaciados no controlados. Las válvulas deben ser ubicadas donde exista un cambio de la pendiente longitudinal de menor a mayor (ETAPA EP, 2001).

3.1.3. Válvula de purga

Como su nombre lo indica, se encarga de purgar una cierta cantidad de agua que pueda acumularse en los puntos más bajos para realizar la respectiva reparación de las mismas, pues una de las características de estas válvulas es que se ubican en las partes más bajas del perfil geométrico, y al tener que soportar altas presiones por su localización se utilizan válvulas de tipo multichorro. También se abrirán automáticamente cuando exista una disminución de la presión por causa de alguna rotura de la tubería (ETAPA EP, 2001).

3.1.4. Válvulas de control

Este tipo de válvulas, que son colocadas en la red de distribución, se encargan de la regulación del caudal en diferentes sectores, al igual que permiten realizar el mantenimiento respectivo y la reparación de cualquier falla de la red. Las válvulas de control pueden ser: de altitud, de admisión y de globo (Comisión Nacional del Agua, 2007).

3.1.5. Estaciones reductoras de presión

Este tipo de accesorio se utiliza para abastecer de agua a zonas bajas de servicio, y su función es reducir la presión aguas arriba a una presión prefijada aguas abajo, sin que influya los cambios de presión o los caudales. Una de las ventajas de este accesorio es que se adapta a las condiciones de la tubería, pero su mantenimiento debe ser más continuo a comparación de otros accesorios por su mecanismo (Comisión Nacional del Agua, 2007).

3.1.6. Tuberías

El conjunto de tuberías principales y secundarias deberá colocarse formando mallas, evitando ramales abiertos. El diámetro a utilizarse será el comercial que más se acerque al calculado en el diseño dependiendo de la pendiente y el material. Las tuberías pueden ser de diferentes materiales, como, por ejemplo: asbesto-cemento, PVC, fibra de vidrio, hierro fundido, hierro dúctil, hierro galvanizado y acero. La localización de las tuberías principales y secundarias será en los costados norte y este de la calzada teniendo una separación de 3 m de las tuberías de alcantarillado (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07 - 601, 1992).

3.1.7. Hidrante

Son conexiones de la red de agua potable ubicadas en las calles a una distancia específica, y hay dos tipos: públicos y contra incendios. Los públicos consisten en llaves colocadas en pedestales de concreto o de mampostería donde varias familias pueden utilizarlos dependiendo de la cercanía al hidrante, recomendable que cada

hidrante sea utilizado por máximo 70 personas y si excede este número debe utilizarse hidrantes múltiples. La distancia a la que puede colocarse cada hidrante público varía entre 200 y 500 m. Los hidrantes contra incendio se ubican más cercanos entre sí para mayor facilidad de acceso y su finalidad es conectar las mangueras para apagar el fuego (Comisión Nacional del Agua, 2007).

3.2. Asignación de propiedades utilizando GIS

3.2.1. Simbología en la tabla de atributos

- 1) Se da click en el icono  *Add Data* donde aparece los archivos creados anteriormente en formato Shapefile y se añaden los necesarios para trabajar posteriormente.

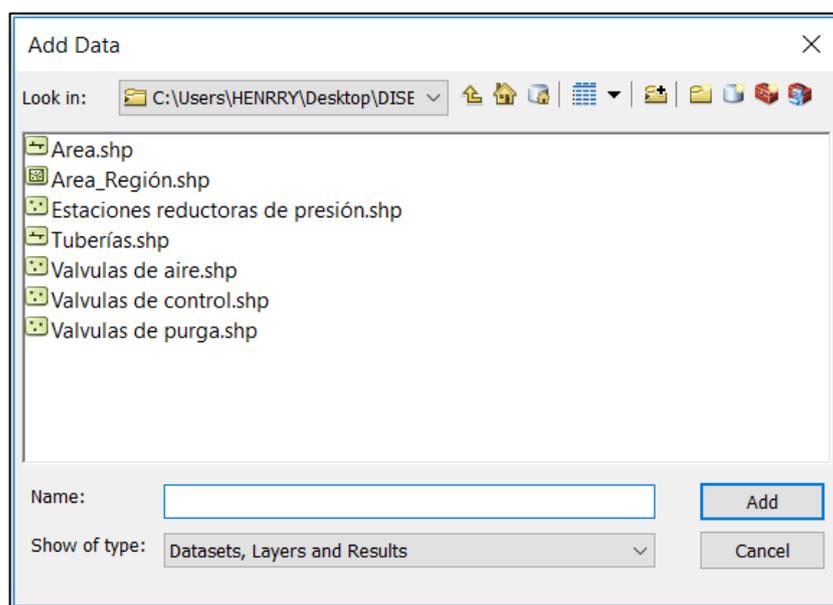


Figura 3.4. Ventana para añadir datos

Fuente: autor

- 2) Luego los archivos que se generaron aparecerán en la tabla de contenidos, se da click derecho sobre uno de los archivos y seleccionamos *Open Attribute Table*.

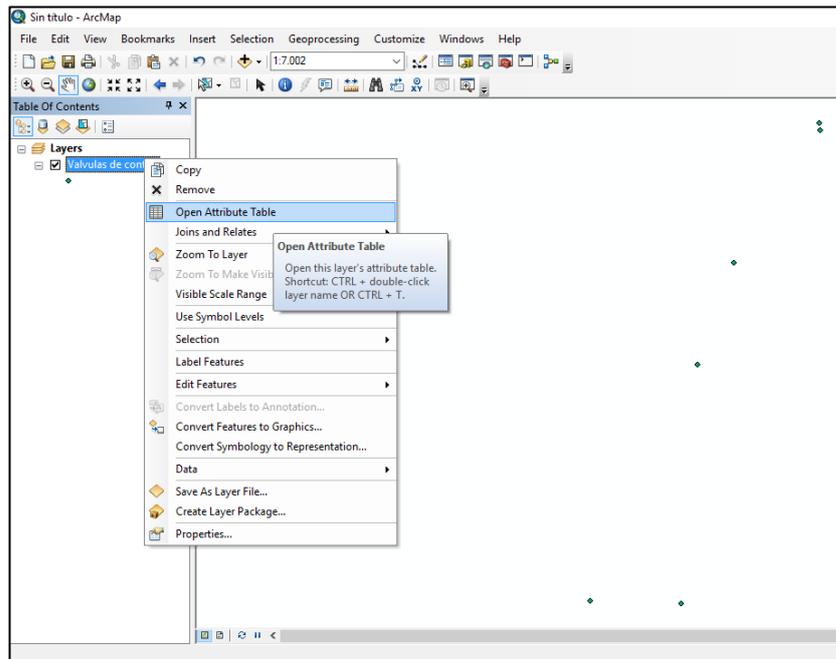


Figura 3.5. Ventana para abrir tabla de atributos

Fuente: autor

- 3) Se da click en el icono  y seleccionamos *Add Field* para agregar una nueva fila a la tabla de atributos.

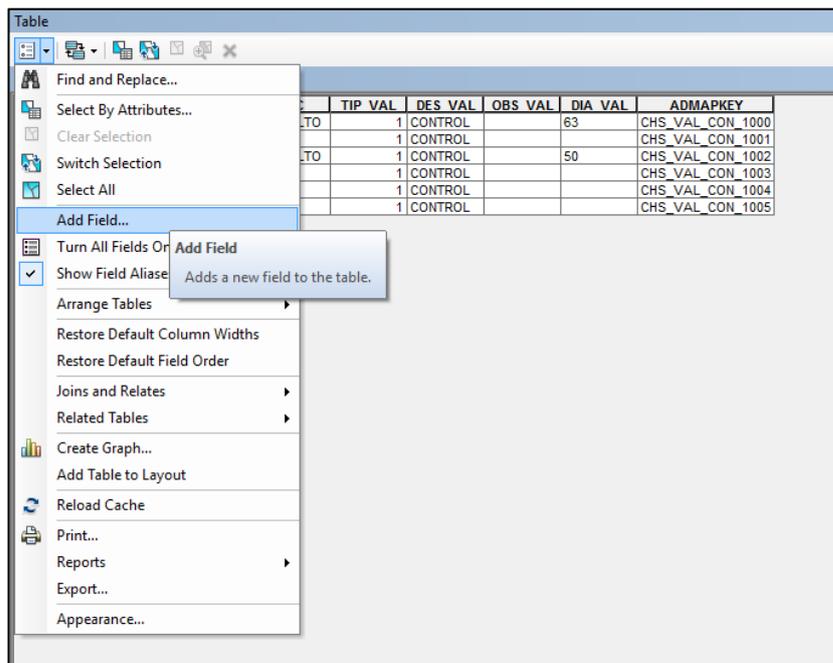


Figura 3.6. Ventana para añadir filas

Fuente: autor

- 4) En la ventana que se abre le ponemos como nombre “ADMAPKEY” y en tipo seleccionamos texto. En longitud de la celda como recomendación se coloca el número 20. Este nombre sirve para que el WaterGEMS reconozca la etiqueta de cada elemento hidráulico.

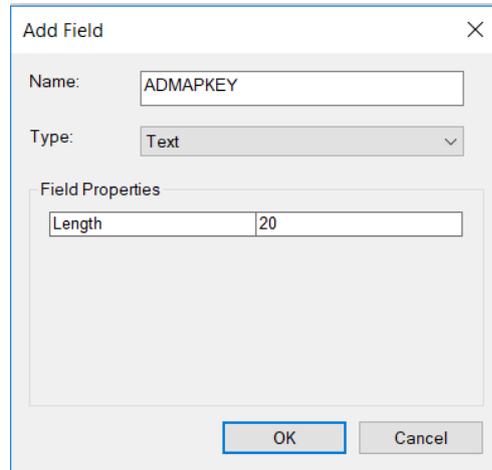


Figura 3.7. Ventana para colocar el nombre de la fila

Fuente: autor

- 5) Se da click derecho en *ADMAPKEY* y seleccionamos *Field Calculator*. Por ejemplo, si se trata de válvulas de control se ingresa el texto siguiente, “CHS_VAL_CON_” & 1000 + [FID]. Esto es para que las válvulas tengan una nomenclatura.

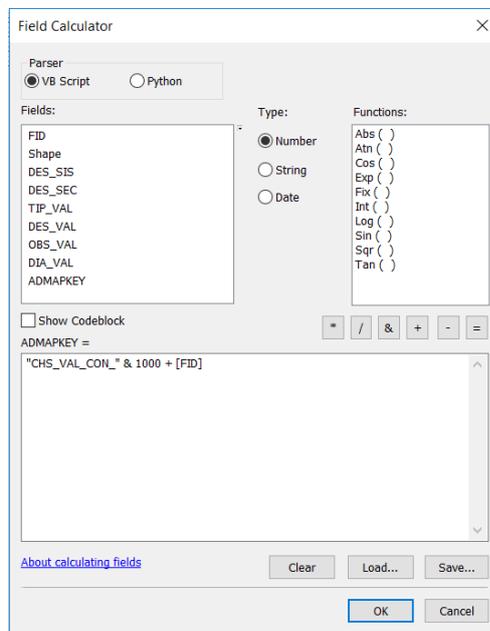


Figura 3.8. Uso de la herramienta Field Calculator

Fuente: autor

6) Solamente en el archivo shapefile de las tuberías, aparte del “ADMAPKEY”, se añade dos columnas más con los nombres “IDX1Y1” y “IDX2Y2” respectivamente. Luego se sigue el mismo procedimiento, damos clic derecho en “ADMAPKEY” y seleccionamos *Field Calculator*. En este caso como son tuberías ingresamos el texto “CHS_T_” & 1000 + [FID]. Para el “IDX1Y1” colocamos el texto “CHS_T_” & 3000 + [FID] y para el “IDX2Y2” colocamos el texto “CHS_T_” & 5000 + [FID]. Como resultado quedara una tabla así:

FID	Shape	LONGITUD	X1	Y1	X2	Y2	DIAMETRO	MATERIAL	SISTEMA 1	SECTORES 2	ADMAPKEY	IDX1Y1	IDX2Y2
0	Polyline	136.93951	727388.720312	9689534.01425	727429.13787	9689471.86526	90	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1000	CHS T 3000	CHS T 5000
1	Polyline	1078.627657	727499.51197	9692139.63327	727283.045478	9691338.93482	90	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1001	CHS T 3001	CHS T 5001
2	Polyline	5.999995	727900.060157	9691010.11554	727896.943402	9691015.2425	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1002	CHS T 3002	CHS T 5002
3	Polyline	4.536876	727996.769514	9688739.8633	728001.303822	9688740.01593	32	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1003	CHS T 3003	CHS T 5003
4	Polyline	18.233673	727613.027662	9688763.38387	727631.152615	9688765.37207	50	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1004	CHS T 3004	CHS T 5004
5	Polyline	55.999951	727996.769514	9688739.8633	727992.295126	9688795.08421	32	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1005	CHS T 3005	CHS T 5005
6	Polyline	42.999992	727870.955718	9688686.41421	727867.184514	9688823.57994	32	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1006	CHS T 3006	CHS T 5006
7	Polyline	77.999931	727914.391788	9688889.19299	727848.926278	9688846.78714	32	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1007	CHS T 3007	CHS T 5007
8	Polyline	35.999968	727784.166607	9688672.01168	727782.18137	9688707.95687	32	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1008	CHS T 3008	CHS T 5008
9	Polyline	7.293124	727406.988837	9688379.64631	727411.413443	9688385.44394	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1009	CHS T 3009	CHS T 5009
10	Polyline	207.812365	727765.3345	9690421.19671	727721.163429	9690227.46626	90	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1010	CHS T 3010	CHS T 5010
11	Polyline	23.311734	727790.423376	9690559.1216	727783.580868	9690536.30484	90	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1011	CHS T 3011	CHS T 5011
12	Polyline	316.012394	727420.197	9691062.198	727696.853547	9690338.83853	90	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1012	CHS T 3012	CHS T 5012
13	Polyline	494.08	727898.861483	9691008.08694	727627.999	9690809.287	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1013	CHS T 3013	CHS T 5013
14	Polyline	431.119202	727696.853547	9690938.83853	727790.423376	9690559.1216	90	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1014	CHS T 3014	CHS T 5014
15	Polyline	116.876357	728189.363699	9691124.97481	728285.741193	9691077.48995	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1015	CHS T 3015	CHS T 5015
16	Polyline	315.52607	727283.045478	9691330.93492	727533.740476	9691286.55031	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1016	CHS T 3016	CHS T 5016
17	Polyline	186.934482	727292.690888	9691184.73503	727420.197	9691062.198	90	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1017	CHS T 3017	CHS T 5017
18	Polyline	189.769449	727283.045478	9691338.93492	727292.690888	9691184.73503	90	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1018	CHS T 3018	CHS T 5018
19	Polyline	812.453403	728285.741193	9691077.48995	727796.150797	9690492.70606	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1019	CHS T 3019	CHS T 5019
20	Polyline	78.389262	727796.150797	9690492.70606	727770.711109	9690426.17936	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1020	CHS T 3020	CHS T 5020
21	Polyline	345.656809	727533.740476	9691286.55031	727794.72946	9691393.5474	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1021	CHS T 3021	CHS T 5021
22	Polyline	238.708155	727794.72946	9691393.5474	727769.88809	9691601.68036	32	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1022	CHS T 3022	CHS T 5022
23	Polyline	240.890598	727790.423376	9690559.1216	727649.33665	9690706.93084	32	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1023	CHS T 3023	CHS T 5023
24	Polyline	417.345449	727898.861483	9691008.08694	728189.363699	9691124.97481	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1024	CHS T 3024	CHS T 5024
25	Polyline	51.942539	727783.580868	9690536.30484	727796.150797	9690492.70606	90	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1025	CHS T 3025	CHS T 5025
26	Polyline	113.9999	727901.913772	9691013.25254	727878.655816	9691119.13607	32	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1026	CHS T 3026	CHS T 5026
27	Polyline	230.119877	727718.715935	9688825.22226	727930.804553	9688741.3719	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1027	CHS T 3027	CHS T 5027
28	Polyline	215.521337	727805.502215	9689014.6713	727718.715935	9688825.22226	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1028	CHS T 3028	CHS T 5028
29	Polyline	87.219859	727931.166276	9688741.29521	727902.375273	9688661.50788	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1029	CHS T 3029	CHS T 5029
30	Polyline	321.021777	727411.413443	9688385.44394	727389.172156	9688685.64203	32	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1030	CHS T 3030	CHS T 5030
31	Polyline	437.559244	727389.172156	9688685.64203	727429.335683	9689094.30935	32	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1031	CHS T 3031	CHS T 5031
32	Polyline	445.251613	727429.335683	9689094.30935	727807.731458	9689094.22489	63	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1032	CHS T 3032	CHS T 5032
33	Polyline	168.717128	727805.502215	9689014.6713	727914.391788	9688889.19299	32	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1033	CHS T 3033	CHS T 5033
34	Polyline	35.242991	727389.172156	9688685.64203	727354.678587	9688692.00626	50	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1034	CHS T 3034	CHS T 5034
35	Polyline	412.847001	727398.720312	9689534.01425	727651.853049	9689310.12685	90	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1035	CHS T 3035	CHS T 5035
36	Polyline	86.245433	727596.938857	9688685.64203	727613.027662	9688763.38387	50	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1036	CHS T 3036	CHS T 5036
37	Polyline	143.167092	727902.375273	9688661.50788	727877.302529	9688534.95501	32	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1037	CHS T 3037	CHS T 5037
38	Polyline	167.815182	727651.853049	9689310.12685	727783.545279	9689212.97705	50	PVC	CHULCO SOROCH	AZHAPUD	CHS T 1038	CHS T 3038	CHS T 5038

Figura 3.9. Configuración de la tabla de atributos de las tuberías

Fuente: Autor

3.2.2. Áreas de aporte

Para determinar las áreas de aporte de cada sector se utilizó el método de los “Polígonos de Thiessen”. Este método se basa en dividir el área cubierta por los nodos en zonas proximales donde cada nodo tenga su respectiva área y así poder establecer las demandas para los mismos. Por lo tanto, lo que hace este software es triangular todos los puntos en una red irregular de triángulos y generar mediatrices perpendiculares para cada borde del triángulo (ArcGIS, 2017). Se escogió este método para calcular las demandas de cada nodo debido a que no se cuenta con los datos actualizados de los usuarios para hacer por el método de consumo de agua con la lectura de los medidores.

Para crear los polígonos se realiza el siguiente proceso:

- 1) Se da click en el icono  y en la ventana que aparece se selecciona la opción “Junction/All Elements” que es para especificar que son todos los nudos y le damos click a *Next*.

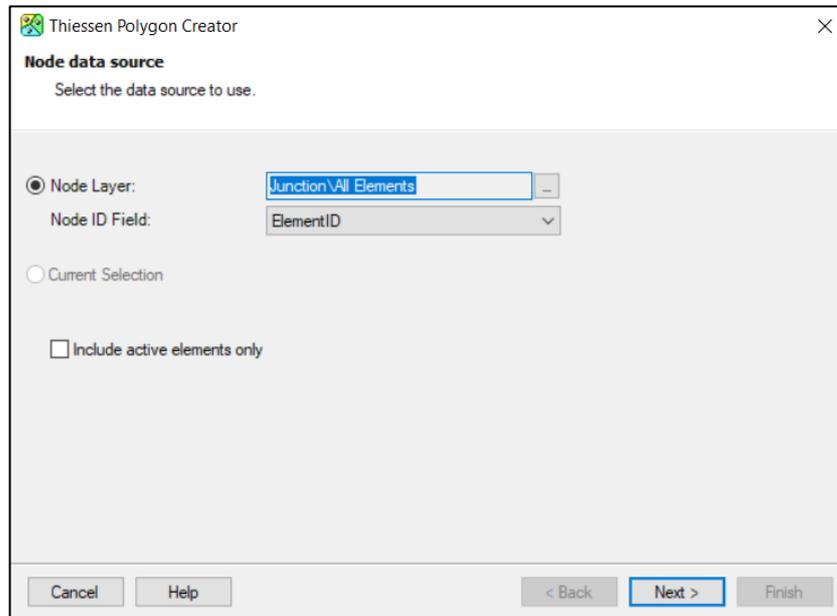


Figura 3.10. Herramienta para crear los Polígonos de Thiessen

Fuente: autor

- 2) En la siguiente ventana solamente se busca el archivo “Shape” creado anteriormente como “Área Región” y se hace click a *Next*.

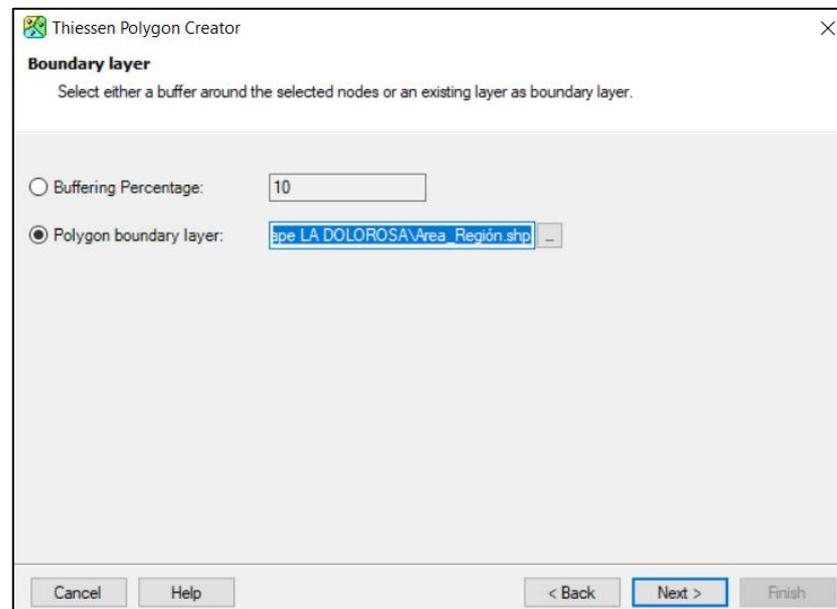


Figura 3.11. Cargar archivo Shape

Fuente: autor

- 3) Por último, solamente se guarda el nuevo archivo como “Polígonos de Thiessen” y se hace click en *Finish*.

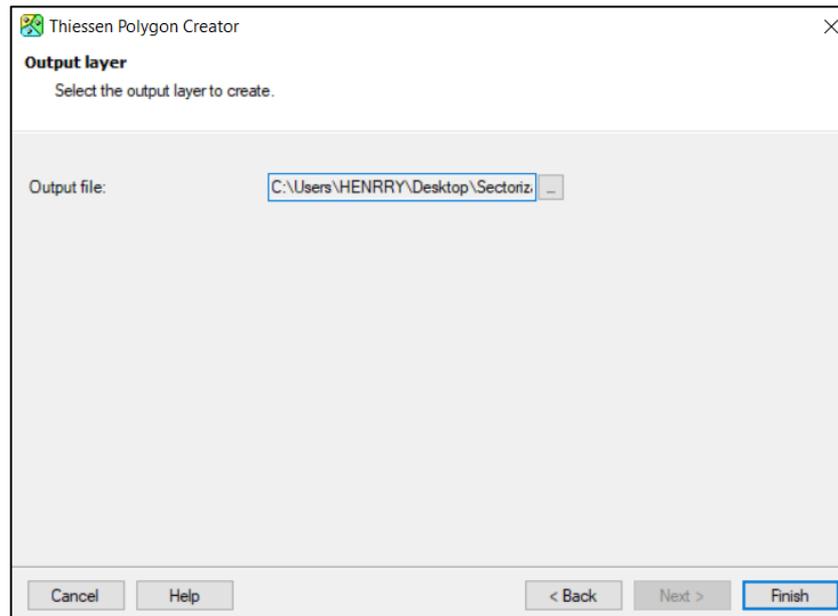


Figura 3.12. Ubicación de la salida de los Polígonos de Thiessen

Fuente: autor

- 4) Ahora que el archivo esta creado en el ArcGIS se abre “Polígonos de Thiessen” donde se puede apreciar la delimitación de las áreas para cada nodo a través de los polígonos como se observa en la figura 3.13.

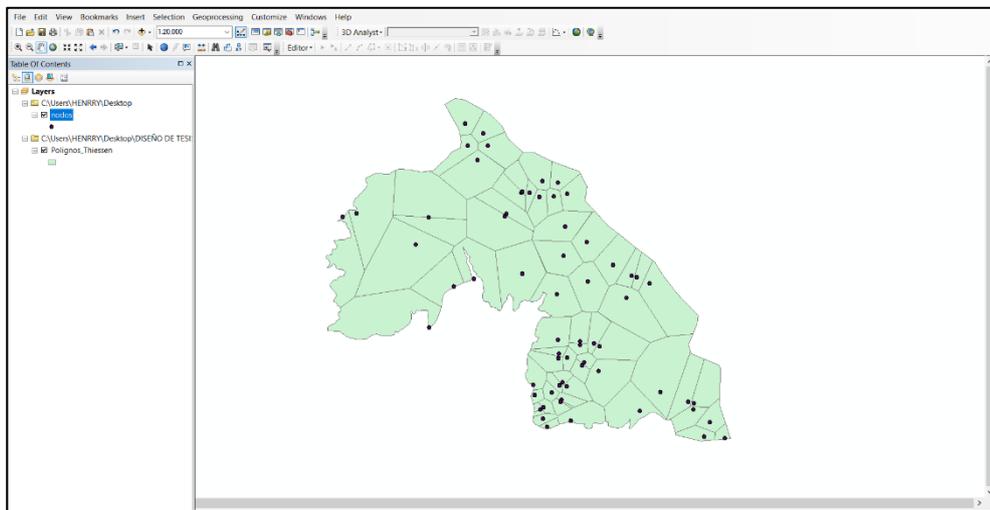


Figura 3.13. Visualización de los Polígonos de Thiessen en ArcGIS

Fuente: autor

- 5) Se abre la tabla de atributos de “Polígonos de Thiessen” y se crea dos columnas, una con el nombre “Área” y la otra “Área Total”. Ahora en la columna nombre “Área”, se hace click derecho y se selecciona *Calculate Geometry*, hay que cambiar las unidades a hectáreas.

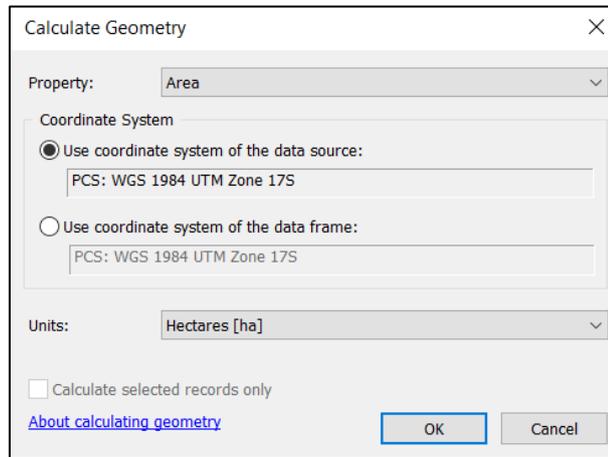


Figura 3.14. Ventana de la herramienta Calculate Geometry

Fuente: autor

- 6) Luego de calcular el área de cada polígono se da click derecho en esa columna y se selecciona *Statistics* y aparecerá el valor del área total. Se copia ese valor y en la columna de “Área Total” se da click derecho, se selecciona *Field Calculator* y se pega ese valor teniendo como resultado la figura 3.15.

Table						
Polignos_Thiessen						
FID	Shape	ELEMENTID	NODOS	AREA	AREA TOTAL	
0	Polygon	205	CHS T 3036	12,1114	441,174415	
1	Polygon	196	CHS T 3010	6,217429	441,174415	
2	Polygon	104	CHS T 5004	1,190608	441,174415	
3	Polygon	103	CHS T 3004	1,497989	441,174415	
4	Polygon	209	CHS T 5034	28,090642	441,174415	
5	Polygon	199	CHS T 3031	9,189333	441,174415	
6	Polygon	98	CHS T 5048	3,595377	441,174415	
7	Polygon	97	CHS T 3048	2,377403	441,174415	
8	Polygon	203	CHS T 5001	15,956785	441,174415	
9	Polygon	202	CHS T 3001	5,781936	441,174415	
10	Polygon	86	CHS T 5033	3,949372	441,174415	
11	Polygon	200	CHS T 5031	3,916186	441,174415	
12	Polygon	92	CHS T 5060	6,904021	441,174415	
13	Polygon	91	CHS T 3060	1,457647	441,174415	
14	Polygon	197	CHS T 5010	3,063655	441,174415	
15	Polygon	89	CHS T 5032	5,327178	441,174415	
16	Polygon	194	CHS T 5049	8,593007	441,174415	
17	Polygon	193	CHS T 3049	1,448884	441,174415	
18	Polygon	191	CHS T 5066	23,597652	441,174415	

Figura 3.15. Tabla de las áreas para cada nodo

Fuente: autor

3.2.3. Cálculo de caudales

Para calcular el caudal máximo horario (QMH) se realiza el siguiente procedimiento:

- 1) Con la población obtenida en la tabla 2.1 y el área total de todo el sistema de “Chulco Soroche” se puede calcular la densidad poblacional mediante la siguiente expresión:

$$\text{Densidad poblacional} = \frac{\text{Población}}{\text{Area}} = \frac{\text{hab}}{\text{Ha}} \quad (10)$$

Tabla 3.2. Calculo de la densidad poblacional

DATOS		
Población año 2018	15146	hab
Área	4278,85	Ha
Densidad Poblacional	3,54	hab/Ha

Fuente: autor

- 2) Para determinar el Q_m se construye una tabla en Excel con el área de cada sector en hectáreas. Para calcular la población por sector se multiplica el área por la densidad poblacional obtenida anteriormente y así calcular un caudal medio mediante la siguiente formula:

$$Q_m = \frac{f * \text{Población} * \text{Dotación}}{86400} = \frac{l}{s} \quad (11)$$

Donde:

Q_m = Caudal medio

f = Factor de fugas

Población = Número de habitantes

Dotación = 200 lt/hab*día

3) Cálculo del QMH se emplea la siguiente fórmula:

$$QMH = KMH * Qm = \frac{l}{s} \quad (12)$$

Donde:

QMH = Caudal máximo horario

KMH = coeficiente de variación del caudal máximo horario

Qm = Caudal medio

4) Mediante el documento brindado por ETAPA EP de “Estudios y Diseños Definitivos del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable desde el Río Chulco y la Quebrada el Soroche” (2001) se ha establecido un factor de fugas de 25% y un coeficiente de variación del caudal máximo horario (KMH) de 2. Por lo tanto, para calcular el QMH se multiplica el caudal medio obtenido anteriormente por este factor KMH. Los resultados se presentan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Caudales máximos horarios (QMH)

SECTOR	AREA(Ha)	POBLACIÓN (hab)	Qm (l/s)	QMD (l/s)	QMH(l/s)
AZHAPUD	399,31	1413	4,09	5,32	8,18
EL GUABO	241,46	855	2,47	3,22	4,95
LA DOLOROSA	441,15	1562	4,52	5,87	9,04
OCTAVIO CORDERO	290,38	1028	2,97	3,87	5,95
PAMPAS	299,57	1060	3,07	3,99	6,14
CHECA PTAP S-01	742,69	2629	7,61	9,89	15,21
SAN JOSÉ	458,84	1624	4,70	6,11	9,40
SAN PEDRO	633,75	2243	6,49	8,44	12,98
SAN VICENTE	632,59	2239	6,48	8,42	12,96
SIDCAY	139,06	492	1,42	1,85	2,85

Fuente: autor

3.3. Elaboración de los Modelos Hidráulicos en WaterGEMS

3.3.1. Parámetros y unidades hidráulicas

Para definir las unidades hidráulicas se da click en el menú *Tools* y se selecciona *Options*. Aparecerá una ventana con varios parámetros y sus respectivas unidades. Lo primero que hay que verificar es que este seleccionado las unidades en Sistema Internacional (SI), y los parámetros más importantes a considerar son: el flujo que debe estar en litros por segundo (L/s), la presión en metros de columna de agua (m H₂O), la velocidad en metros por segundo (m/s) y las pérdidas unitarias en metro por kilómetro (m/km).

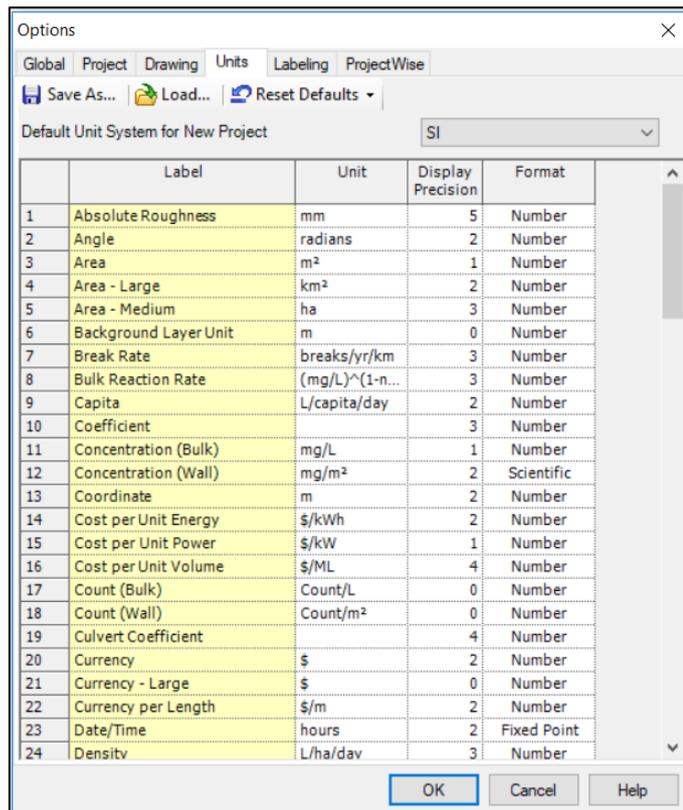


Figura 3.16. Ventana de unidades hidráulicas

Fuente: autor

3.3.2. Información de GIS a WaterGEMS

- 1) Para pasar los archivos creados en GIS a WaterGEMS se da click en el siguiente icono  y aparecerá la siguiente figura.

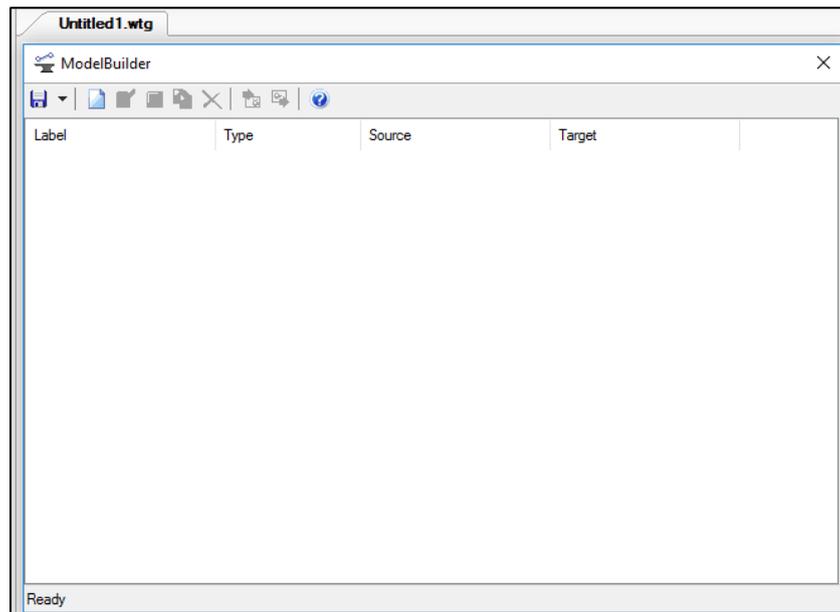


Figura 3.17. Ventana de la herramienta Model Builder

Fuente: autor

- 2) Se selecciona el icono  para crear uno nuevo proyecto, aparecerá una pantalla y en *Select a Data Source Type* se tiene que escoger “Esri Shapefiles” ya que todos los archivos creados anteriormente eran de ese formato. En *Select your Data Source* seleccionar todos los archivos de los accesorios de cada sector y dar click a *Next*.

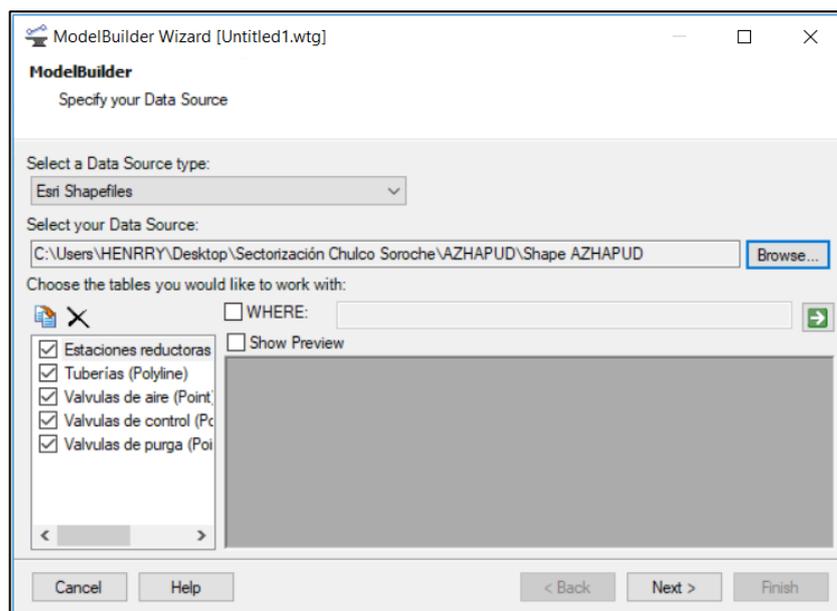


Figura 3.18. Ventana del Model Builder cargada

Fuente: autor

- 3) En la siguiente ventana solamente seleccionar las unidades en metros y dar click a *Next*.

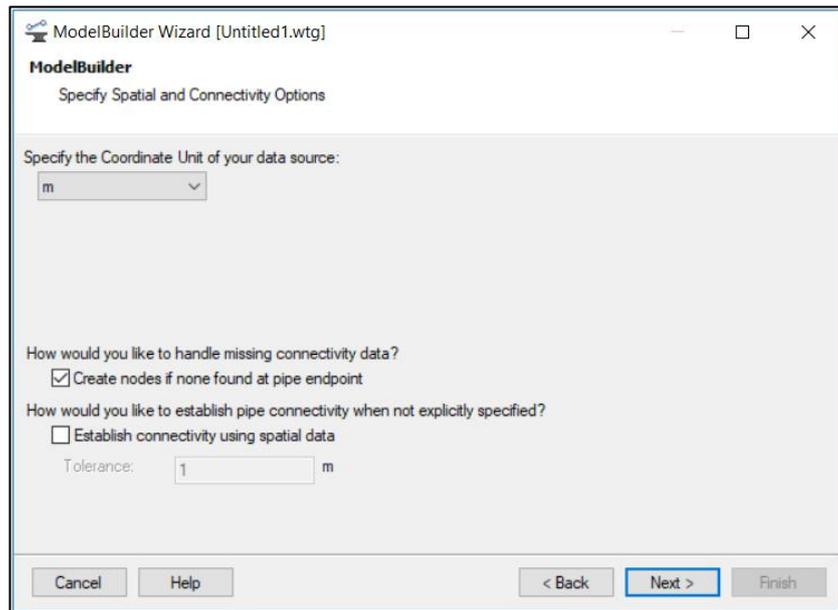


Figura 3.19. Ventana de opciones de especificación espacial y conectividad

Fuente: autor

- 4) Las dos siguientes pantallas no se las modifica, se le da directamente a *Next*
- 5) A continuación, se selecciona cada uno de los accesorios y se escoge lo siguiente:
 - Para estaciones reductoras de presión en *Table Type* se escoge “PRV” que es la nomenclatura de este accesorio en WaterGEMS y en *Key Fields* se selecciona “ADMAPKEY”.

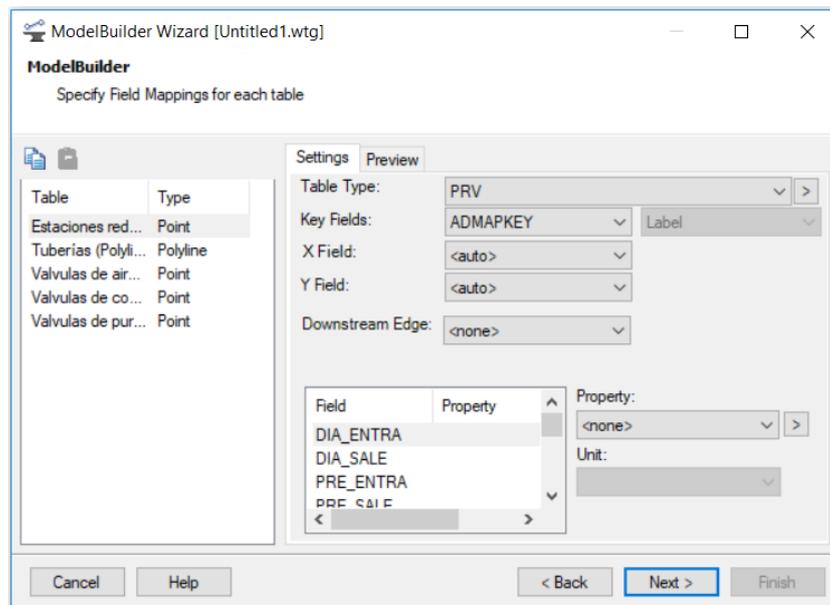


Figura 3.20. Ventana de especificación de los campos de mapeo para cada tabla.

Fuente: autor

- Para tuberías en *Table Type* se escoge “Pipe”, en *Key Fields* se selecciona “ADMAPKEY”, en *Start* seleccionar “IDX1Y1” y en *Stop* escoger “IDX2Y2”. En *Property* seleccionar “Diameter” y en *Unit* colocar en mm.
- Para válvulas de aire en *Table Type* escoger “Air Valve” y en *Key Fields* seleccionar “ADMAPKEY”.
- Para válvulas de control en *Table Type* escoger “Isolation Valve” y en *Key Fields* seleccionar “ADMAPKEY”.
- Y para válvulas de purga en *Table Type* escoger “Discharge To Atmosphere” y en “Key Fields” seleccionar “ADMAPKEY” y hacer clic en *Next*.

6) A continuación, dar click en *Finish*.

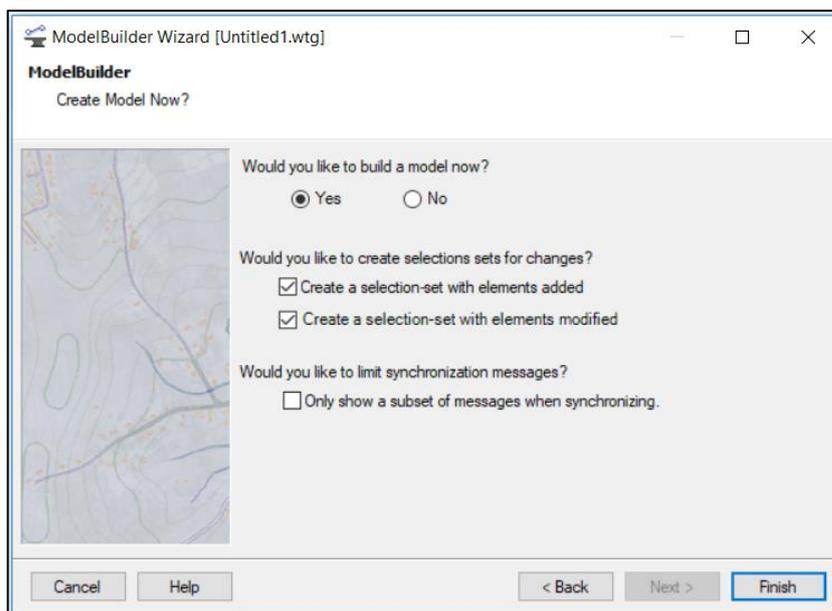


Figura 3.21. Ventana para la creación de un nuevo modelo

Fuente: autor

Luego de todos estos pasos se pueden visualizar las tuberías y elementos hidráulicos cargados en la ventana del WaterGEMS, pero todavía falta de cargar las elevaciones y demandas para poder correr la simulación.

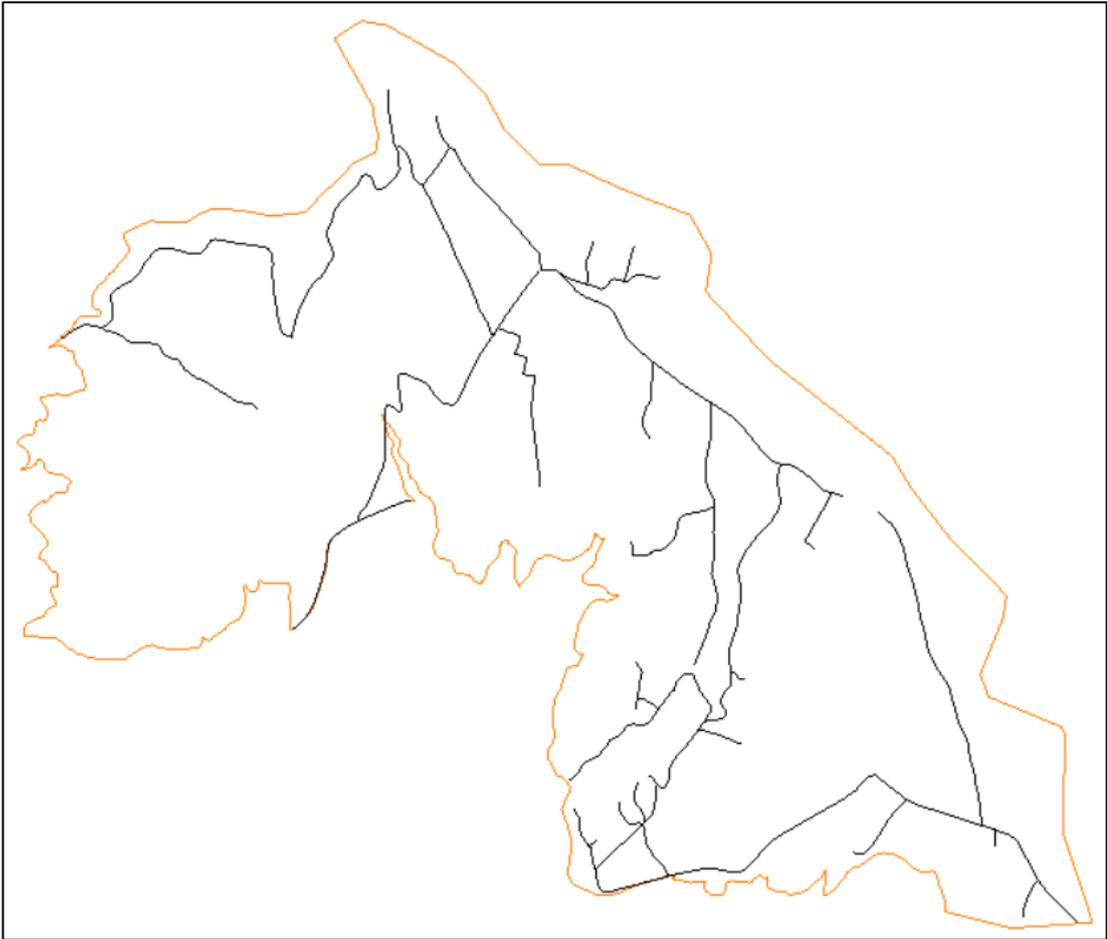


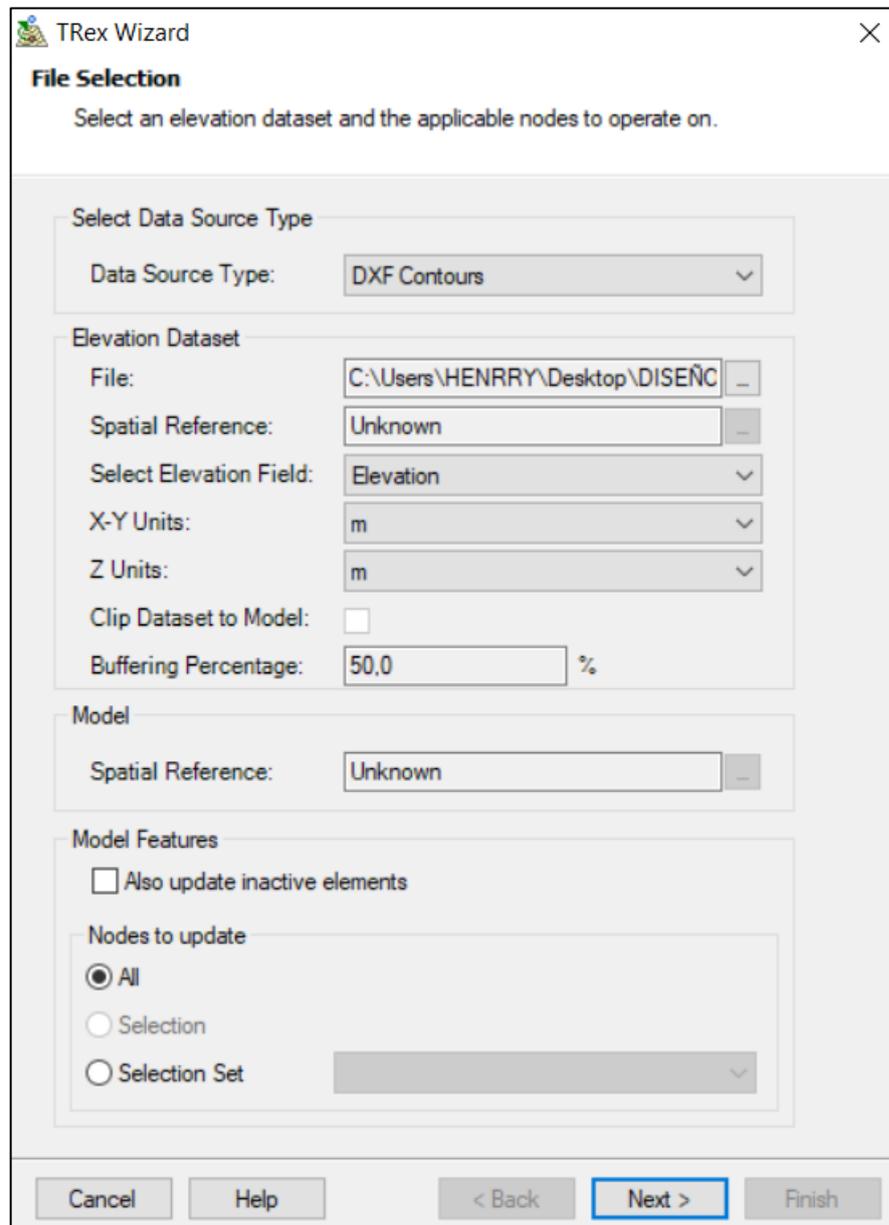
Figura 3.22 : Tuberías y accesorios cargados

Fuente: autor

3.3.3. Asignación automática de las elevaciones y las demandas de los nodos

Para cargar las elevaciones se utiliza la herramienta TRex Wizard, a continuación, se detalla los pasos a seguir:

- 1) Ubicarse en el icono  TRex Wizard y dar un click para que nos aparezca la siguiente pantalla.



The screenshot shows the 'TRex Wizard' dialog box with the 'File Selection' tab active. The dialog is titled 'TRex Wizard' and has a close button (X) in the top right corner. Below the title bar, the text 'File Selection' is displayed, followed by the instruction 'Select an elevation dataset and the applicable nodes to operate on.' The dialog is divided into several sections:

- Select Data Source Type:** A dropdown menu showing 'DXF Contours'.
- Elevation Dataset:** A group of fields including:
 - File: C:\Users\HENRRY\Desktop\DISEÑO
 - Spatial Reference: Unknown
 - Select Elevation Field: Elevation
 - X-Y Units: m
 - Z Units: m
 - Clip Dataset to Model:
 - Buffering Percentage: 50,0 %
- Model:** A field for Spatial Reference: Unknown
- Model Features:** A section with a checkbox for 'Also update inactive elements' (unchecked) and a 'Nodes to update' section with three radio buttons: 'All' (selected), 'Selection', and 'Selection Set' (with a dropdown menu).

At the bottom of the dialog, there are five buttons: 'Cancel', 'Help', '< Back', 'Next >', and 'Finish'. The 'Next >' button is highlighted with a blue border.

Figura 3.23. Ventana de selección de archivo y unidades

Fuente: autor

- 2) Llenar los campos que pide, tal como se muestra en la figura 3.23 y luego dar click en *Next* para que aparezca la siguiente ventana que muestra los nodos con sus respectivas elevaciones.

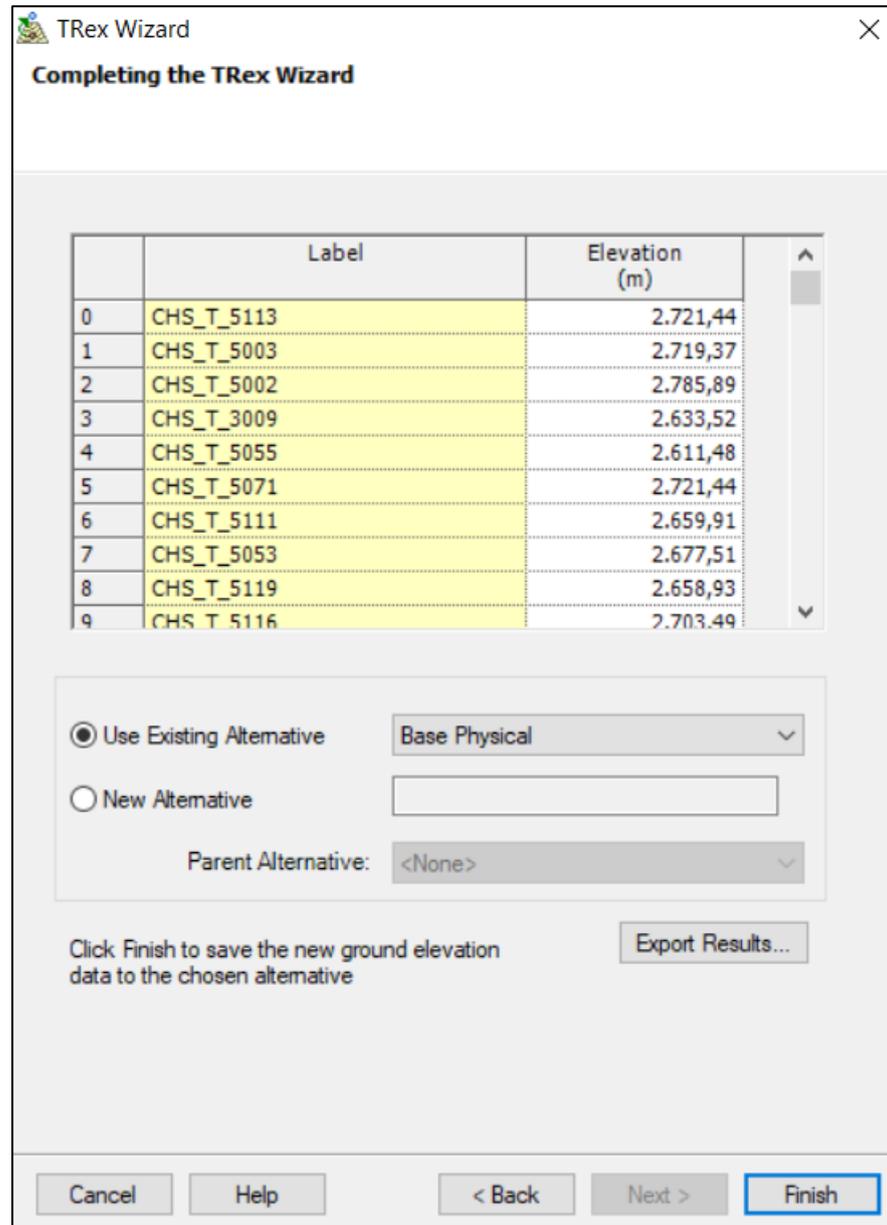


Figura 3.24. Ventana de nodos con sus elevaciones

Fuente: autor

- 3) Por último, dar click en *finish* para terminar el proceso de cargar las elevaciones.

Para cargar las demandas se utiliza la herramienta LoadBuilder Wizard, a continuación, se detallan los pasos a seguir:

- 1) Dar click en el icono LoadBuilder  Wizard y luego presionar click en New  para que aparezca la siguiente pantalla. Seleccionar los métodos de carga de demandas tal como muestra la figura 3.25 y luego dar click en *Next*.

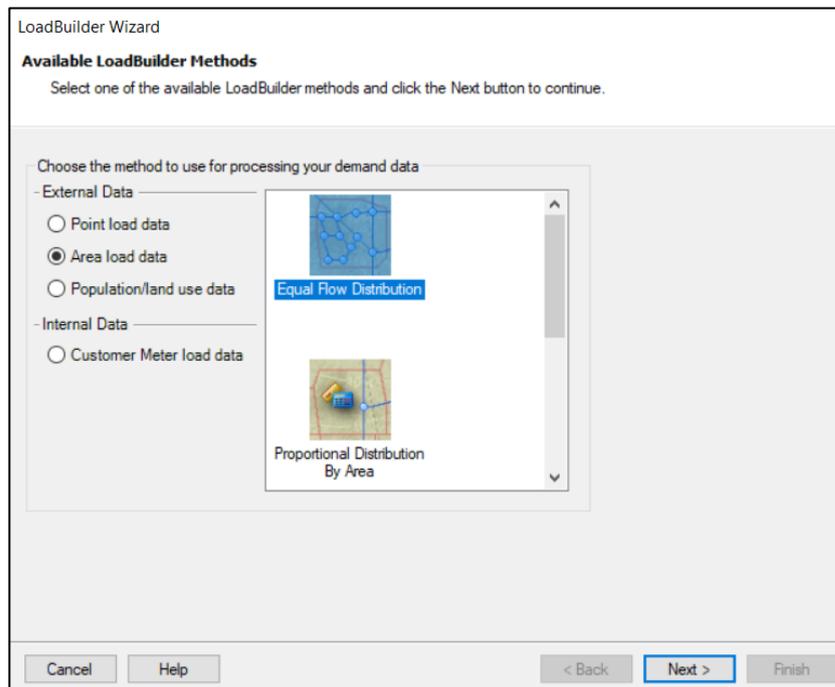


Figura 3.25. Ventana de métodos disponibles

Fuente: autor

- 2) En la siguiente pantalla llenar los datos que nos pide y dar click en *Next*.

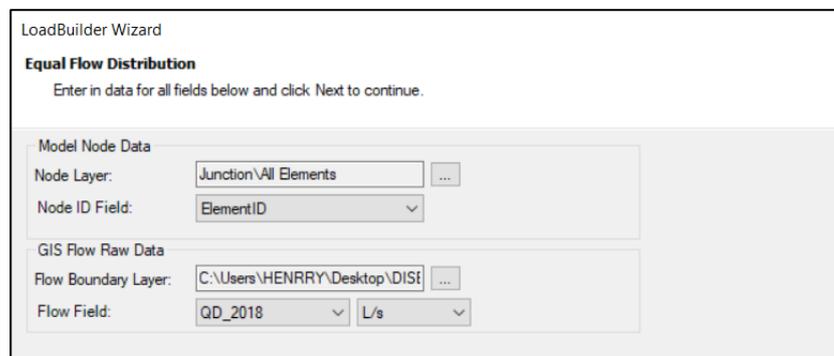


Figura 3.26. Ventana para cargar las demandas

Fuente: autor

- 3) La próxima ventana visualiza los nodos con sus respectivas demandas cargadas. Dar Click en *Next* y guardar como una nueva alternativa de demandas, por ejemplo, con el nombre “Demanda 2018” o con el nombre de la demanda del año que corresponda la simulación. Y por último dar click a *finish*.

LoadBuilder Wizard

Results Preview
List of calculation loads for each node.

Node Id	Demand (L/s)	Load Type	Pattern
234: CHS_T...	0,091	Default	Fixed
231: CHS_T...	0,018	Default	Fixed
436: CHS_T...	0,067	Default	Fixed
226: CHS_T...	0,055	Default	Fixed
223: CHS_T...	0,040	Default	Fixed
390: CHS_T...	0,121	Default	Fixed
220: CHS_T...	0,219	Default	Fixed
217: CHS_T...	0,077	Default	Fixed
214: CHS_T...	0,037	Default	Fixed
451: CHS_T...	0,001	Default	Fixed
211: CHS_T...	0,110	Default	Fixed
210: CHS_T...	0,016	Default	Fixed
207: CHS_T...	0,012	Default	Fixed
204: CHS_T...	0,010	Default	Fixed
201: CHS_T...	0,194	Default	Fixed
424: CHS_T...	0,108	Default	Fixed
183: CHS_T...	0,010	Default	Fixed
420: CHS_T...	0,161	Default	Fixed
432: CHS_T...	0,156	Default	Fixed
184: CHS T	0.061	Default	Fixed

Cancel Help < Back Next > Finish

Figura 3.27. Nodos con sus demandas

Fuente: autor

3.3.4. Elección de criterio para modelar

En este caso se ha escogido utilizar el método de los “Polígonos de Thiessen” detallado en el capítulo 3.2.2 para determinar las demandas de los nudos en cada sector. Se escogió este método porque no se cuenta con los catastros de los usuarios actualizados y no se puede hacer mediante el método las lecturas de los medidores, que sería lo más ideal.

3.3.5. Simulación de funcionamiento para el año 2018, 2023 y 2030

Antes de realizar la simulación se deben chequear los tanques de reserva y las válvulas estén funcionando correctamente.

- ✓ Verificar que los tanques de reserva tengan cargados las elevaciones máxima, inicial, mínima y base.

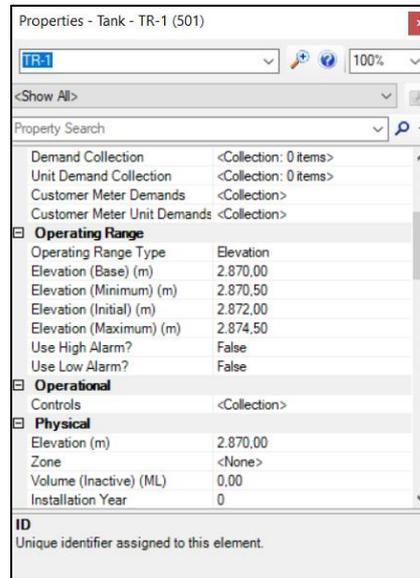


Figura 3.28. Propiedades de un tanque de reserva

Fuente: autor

- ✓ Verificar que las válvulas de control estén abiertas.

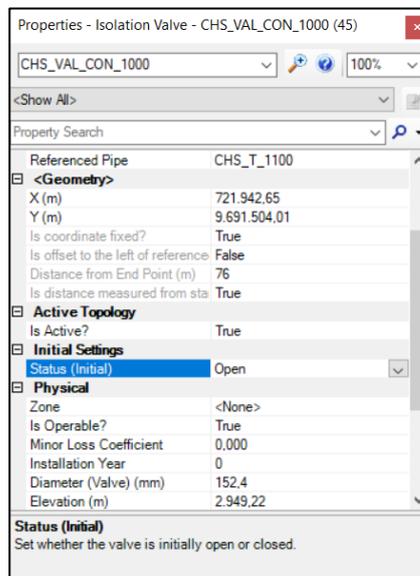


Figura 3.29. Propiedades de una válvula de control

Fuente: autor

- ✓ Verificar que las válvulas reductoras de presión se encuentren en el sentido correcto verificando en la tabla de propiedades cual es la tubería aguas abajo de la válvula, además se debe poner la presión que sale de la válvula.

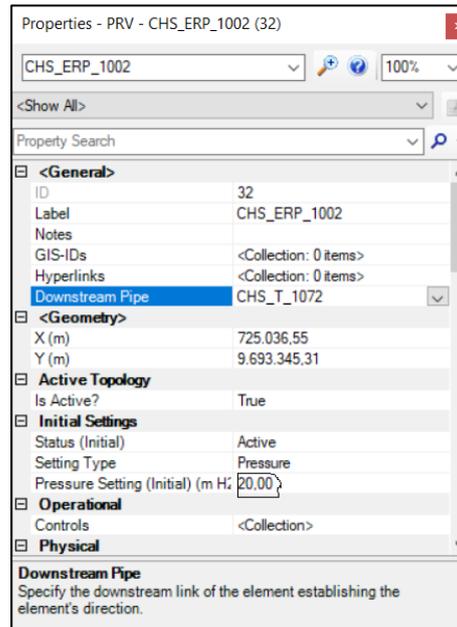


Figura 3.30. Propiedades de una válvula reductora de presión

Fuente: autor

Una vez preparado el modelo con todos sus elementos y propiedades, se procede a verificar si todo está unido a través de la función *Validate* . Si todo está correcto aparecerá el siguiente mensaje.

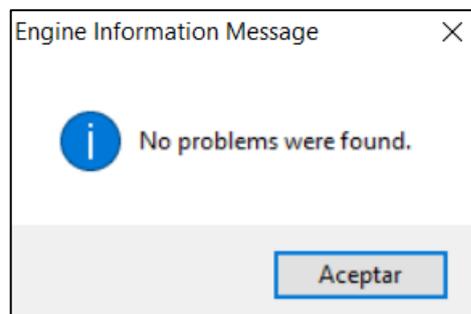
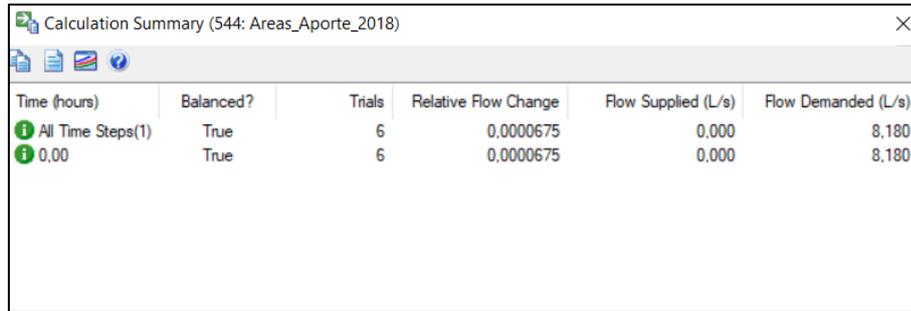


Figura 3.31. Mensaje que no se encontraron problemas

Fuente: autor

Como no se encontraron problemas, se procede a correr el modelo haciendo click en el icono *Compute*  y a continuación se generará el cálculo en cuestión de pocos segundos y se visualizará la siguiente ventana.



Time (hours)	Balanced?	Trials	Relative Flow Change	Flow Supplied (L/s)	Flow Demanded (L/s)
All Time Steps(1)	True	6	0,0000675	0,000	8,180
0,00	True	6	0,0000675	0,000	8,180

Figura 3.32. Ventana resumen de los cálculos

Fuente: autor

Al cerrar esta ventana se observará como está actuando la red de distribución. En el mapa se puede visualizar las presiones en cada nodo y los diámetros y pérdidas unitarias en cada tubería como se muestra en la figura 3.33.

Como ejemplo se ha tomado el mapa de simulación del sector El Guabo para el año 2018.

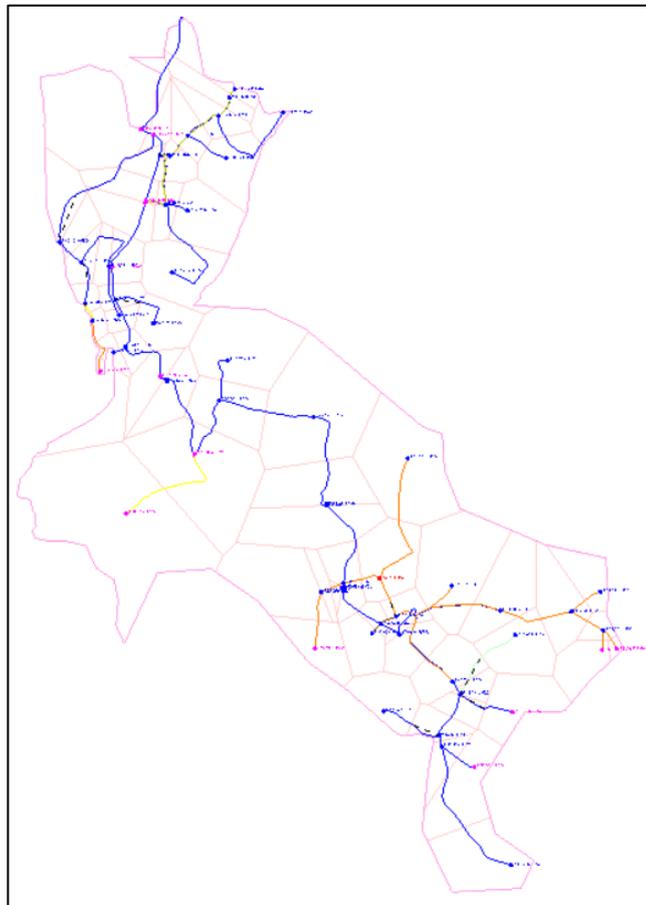


Figura 3.33. Mapa de la modelación del sector El Guabo para el año 2018

Fuente: autor

RESULTADOS

A continuación, se presentarán los resultados de presiones y pérdidas unitarias para los tres escenarios y así poder compararlos. Se ha tomado como ejemplo el sector El Guabo.

Al haber realizado la modelación del sector El Guabo se pueden analizar las presiones en los nodos y las pérdidas unitarias en las tuberías.

- En el caso de las presiones, en la figura 3.34 se pueden observar que para el año 2018 y 2023 el porcentaje de nodos menores a 10 m.c.a es el mismo e igual a 1,45% y para el año 2030 el porcentaje de nodos con presiones menores a 10 m.c.a aumenta 2,90%, esto se debe al aumento de la población, por lo tanto, se incrementa la demanda en los nodos y disminuye la presión.
- En el caso de las pérdidas unitarias, en la figura 3.34 se puede observar que para el año 2018, existe 2,63% de las tuberías que exceden los 12 m/Km. Pero para el año 2023 y 2030 las tuberías que sobrepasan los 12 m/Km permitidos en la norma, aumentan a un 3,95%, debido a que las tuberías transportan un mayor caudal, lo cual hace que las pérdidas aumenten considerablemente, para solucionar este problema se podría cambiar el diámetro de las tuberías a uno más grande.

Presiones - Sector El Guabo

En la tabla 3.4 se observa las cantidades y porcentajes de nodos que están entre los rangos <10 m.c.a., 10 a 50 m.c.a. y >50 m.c.a para los años 2018, 2023 y 2030.

Tabla 3.4. Presiones - Sector El Guabo (Resumen)

Rango (m.c.a)	Cantidad de Nodos por Escenario					
	2018		2023		2030	
<10	1	1,45%	1	1,45%	2	2,90%
10 a 50	54	78,26%	54	78,26%	53	76,81%
> 50	14	20,29%	14	20,29%	14	20,29%
Total	69	100,00%	69	100,00%	69	100,00%

Fuente: autor

En la figura 3.34 se observa los porcentajes de nodos que están en cada rango.

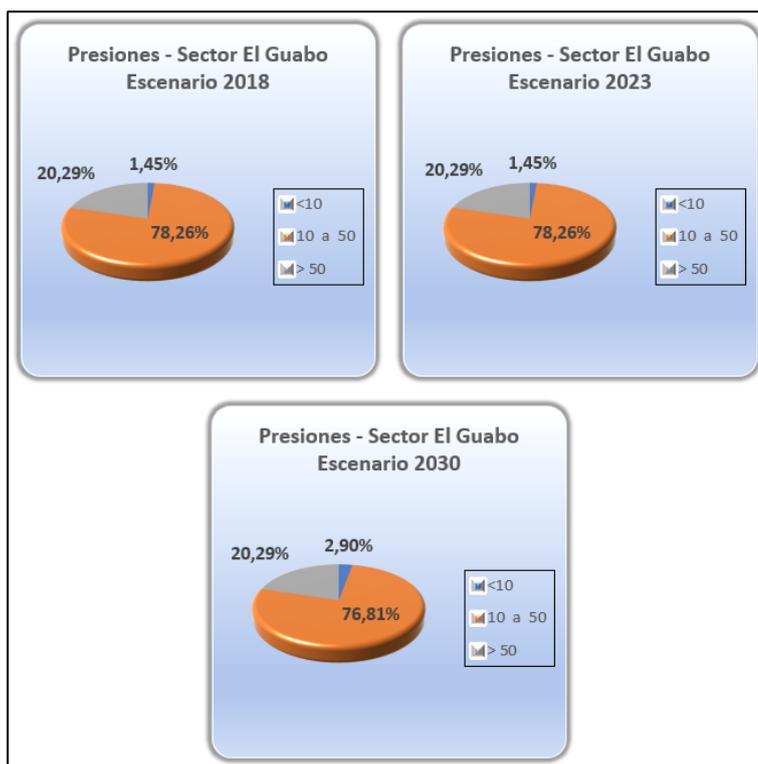


Figura 3.34. Graficas con porcentaje de nodos

Fuente: autor

Pérdidas Unitarias - Sector El Guabo

En la tabla 3.5 se observa las cantidades y porcentajes de tuberías que están entre los rangos <7 m/Km, 7 a 12 m/Km y >12 m/km para los años 2018, 2023 y 2030.

Tabla 3.5. Pérdidas Unitarias - Sector El Guabo (Resumen)

Rango (m/Km)	Cantidad de Tuberías por Escenario					
	2018		2023		2030	
<7	69	90,79%	69	90,79%	65	85,53%
7 a 12	5	6,58%	4	5,26%	8	10,53%
> 12	2	2,63%	3	3,95%	3	3,95%
Total	76	100,00%	76	100,00%	76	100,00%

Fuente: autor

En la figura 3.35 se observa los porcentajes de tuberías que están en cada rango.

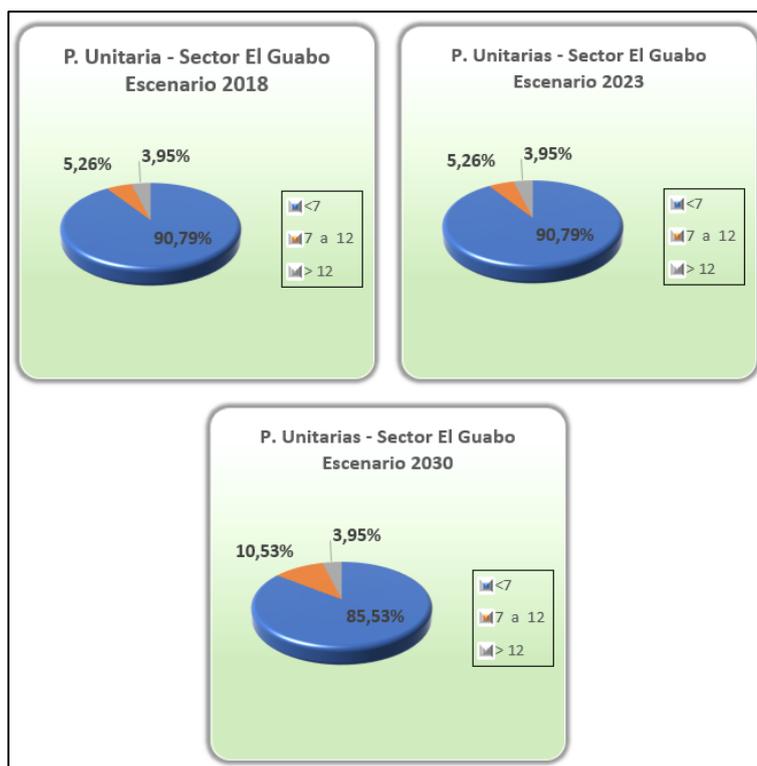


Figura 3.35. Graficas con porcentaje de tuberías

Fuente: autor

- Se encontraron tuberías que presentan pérdidas unitarias muy altas. En la tabla 3.6 se presenta un resumen de dichas tuberías.

Tabla 3.6. Tuberías con pérdidas unitarias altas (Resumen)

Tubería	Diámetro Actual (mm)	Sector
CHS_T_1076	32	El Guabo
CHS_T_1045	32	El Guabo
CHS_T_1078	25	El Guabo
CHS_T_1038	32	El Guabo
CHS_T_1084	32	El Guabo
CHS_T_1135	63	San Vicente
CHS_T_1134	63	San Vicente
CHS_T_1131	63	San Vicente
CHS_T_1136	63	San Vicente

Fuente: Autor

- Se hallaron tuberías y válvulas con incertidumbre de ubicación en ciertos sectores. En la tabla 3.7 se muestra el nombre, coordenadas iniciales y finales, y el sector al que pertenece las tuberías con inconsistencias en la información.

Tabla 3.7. Tuberías desconectadas

ADMAPKEY	X1	Y1	X2	Y2	SECTORES
CHS_T_1052	724391,595	9689759,02	724427,179	9689834,26	SAN JOSE
CHS_T_1288	724518,149	9691379,9	724530,168	9691368,6	SAN VICENTE
CHS_T_1292	724468,249	9689814,08	724433,731	9689829,72	SAN JOSE
CHS_T_1302	724359,36	9689630,63	724177,911	9689662,56	SAN JOSE
CHS_T_1505	724157,669	9692157,47	723962,263	9692343,91	SAN VICENTE
CHS_T_1506	724262,445	9691884,24	724050,091	9691888,99	SAN VICENTE
CHS_T_1507	724525,691	9691596,71	724646,591	9691570,58	SAN VICENTE
CHS_T_1508	724518,149	9691379,9	724441,985	9691321,71	SAN VICENTE
CHS_T_1509	724525,691	9691596,71	724518,149	9691379,9	SAN VICENTE
CHS_T_1510	724446,005	9691696,58	724525,691	9691596,71	SAN VICENTE
CHS_T_1511	724262,445	9691884,24	724446,005	9691696,58	SAN VICENTE
CHS_T_1512	724172,448	9692133,21	724262,445	9691884,24	SAN VICENTE
CHS_T_1515	726029,12	9692774,36	725999,968	9692856,61	SAN VICENTE
CHS_T_1520	727431,513	9692304,08	727478,554	9692310,27	PERIFERIA
CHS_T_2033	724433,731	9689829,72	724359,36	9689630,63	SAN JOSE
CHS_T_2034	724468,249	9689814,08	724391,595	9689759,02	SAN JOSE
CHS_T_1297	725651,931	9688815,8	726003,059	9689384,32	SAN JOSE
CHS_T_1514	725314,336	9692449,61	725245,239	9692476,77	SAN VICENTE
CHS_T_1516	725469,702	9692700,69	725525,998	9692582,34	SAN VICENTE
CHS_T_1517	725036,554	9693345,31	725062,487	9693153,3	SAN VICENTE
CHS_T_1518	724818,584	9693019,35	725036,554	9693345,31	SAN VICENTE
CHS_T_1867	725469,702	9692700,69	725328,604	9692653,36	SAN VICENTE
CHS_T_1880	725736,943	9692674,87	725469,702	9692700,69	SAN VICENTE
CHS_T_1890	725220,274	9687849,94	725460,67	9687836,54	SAN PEDRO
CHS_T_1120	725440,162	9693746,58	725454,192	9693201,56	SAN VICENTE
CHS_T_1896	725362,98	9687057,8	724997,805	9687418,88	SAN PEDRO
CHS_T_1014	726533,472	9687859,22	726469,648	9687920,33	RICARUTE
CHS_T_1219	726142,185	9688331,03	726325,208	9688321,37	SIDCAY
CHS_T_2036	724829,108	9688902,51	724511,008	9688722,49	SAN JOSE
CHS_T_1743	725038,117	9686837,79	725038,117	9686837,79	PERIFERIA
CHS_T_1839	724974,291	9686326,62	725014,263	9686429,62	SAN PEDRO
CHS_T_1199	726672,015	9686011,9	726789,491	9686054,71	PAMPAS
CHS_T_1200	726672,015	9686011,9	727140,024	9685805,28	PAMPAS

Fuente: Autor

En los ANEXOS se puede verificar los resultados de las presiones y pérdidas unitarias de las modelaciones hidráulicas de los demás sectores.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se realizó la recopilación de la información necesaria para la construcción del modelo hidráulico de los diferentes sectores que conforman el sistema “Chulco Soroche” del cantón Cuenca, provincia del Azuay. Para la obtención de los datos topográficos se utilizaron programas informáticos como AutoCAD Civil 3D y ArcGIS, a partir de los cuales se asignaron propiedades físicas como longitudes y elevaciones de los nudos y tuberías; se calcularon las poblaciones futuras con el fin de establecer los caudales para diferentes escenarios de funcionamiento; y mediante el software WaterGEMS se construyeron los modelos para cada sector.
- Se elaboraron modelos hidráulicos de todos los sectores que comprende el sistema “Chulco Soroche” para el año 2018, 2023 y 2030 con el fin de verificar su funcionamiento actual y establecer mejoras futuras en caso de ser necesario. Estos permitieron establecer zonas con problemas en función del análisis de las presiones de los nodos y las pérdidas unitarias de las tuberías respectivamente. al crecimiento poblacional proyectado para el año 2030, estos datos se los tomo de los “Estudios y Diseños Definitivos de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca”, brindados por la empresa ETAPA EP. Adicionalmente se cumplió con todos los parámetros y criterios de diseño establecidos en el (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07 - 601, 1992), lo que nos garantiza el perfecto funcionamiento hasta finales del periodo de diseño.
- De los resultados se obtuvieron que en los sectores La Dolorosa, Checa, San Pedro y San José algunos sectores presentan problemas de presión por falta

de capacidad en ciertas tuberías, las cuales fueron identificadas en el presente trabajo. También es necesario que por parte de ETAPA EP se proceda a verificar los catastros de ciertos sectores, ya que del análisis realizado algunas zonas podrían estar funcionando de manera diferente.

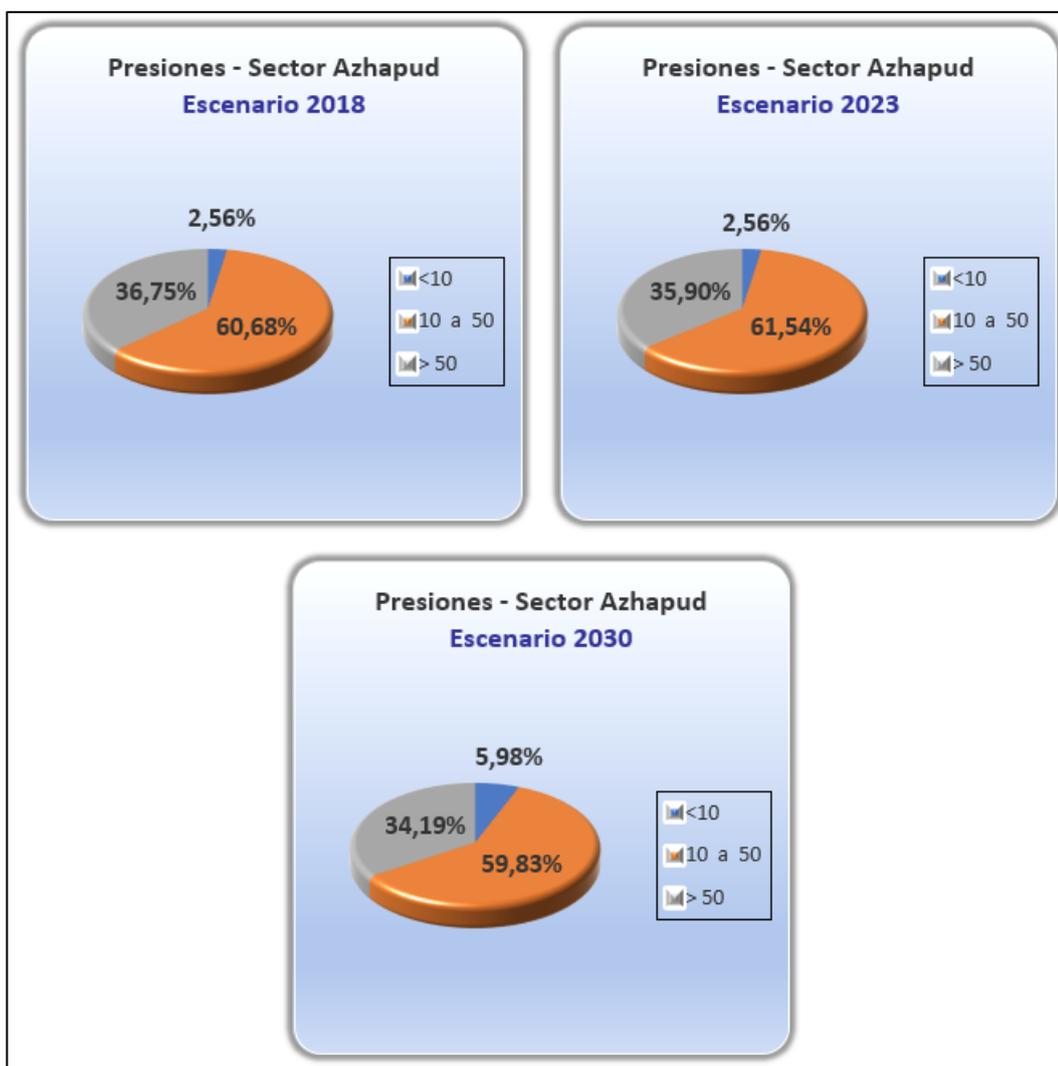
Recomendaciones

- Al haber realizado el análisis de los modelos en años futuros, se recomienda implementar cambios en las redes con falta de capacidad determinadas en el presente trabajo.
- Actualizar los modelos hidráulicos, en función de las verificaciones del catastro requeridas y cuando existan cambios o ampliaciones de la red del sistema “Chulco Soroche”.
- Se recomienda actualizar los modelos cuando se cuente con un catastro de usuarios que permita determinar los consumos reales a partir de la micromedición.

ANEXOS

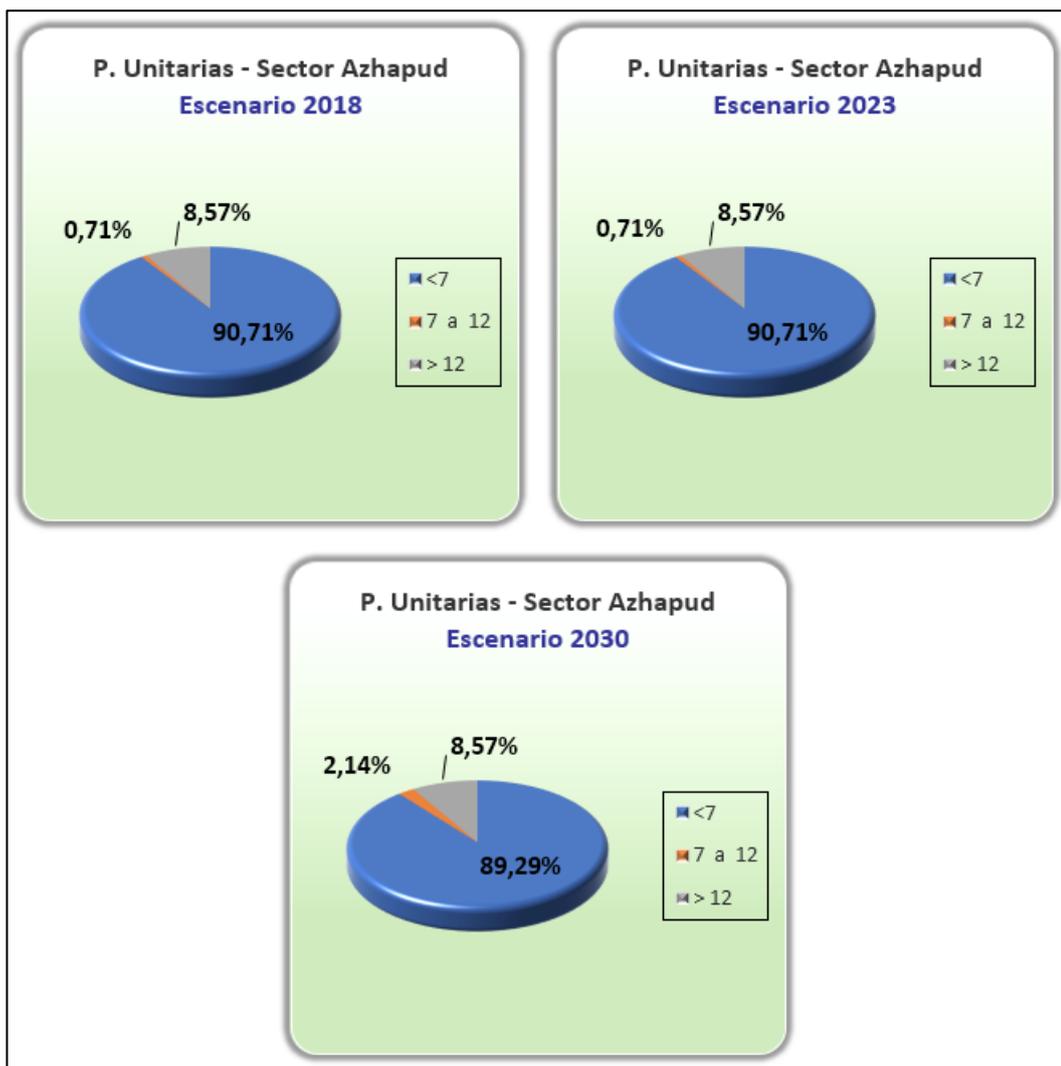
Anexo 1. Presiones - Sector Azhapud

Rango (m.c.a)	Cantidad de Nodos por Escenario					
	2018		2023		2030	
<10	3	2,56%	3	2,56%	7	5,98%
10 a 50	71	60,68%	72	61,54%	70	59,83%
> 50	43	36,75%	42	35,90%	40	34,19%
Total	117	100,00%	117	100,00%	117	100,00%



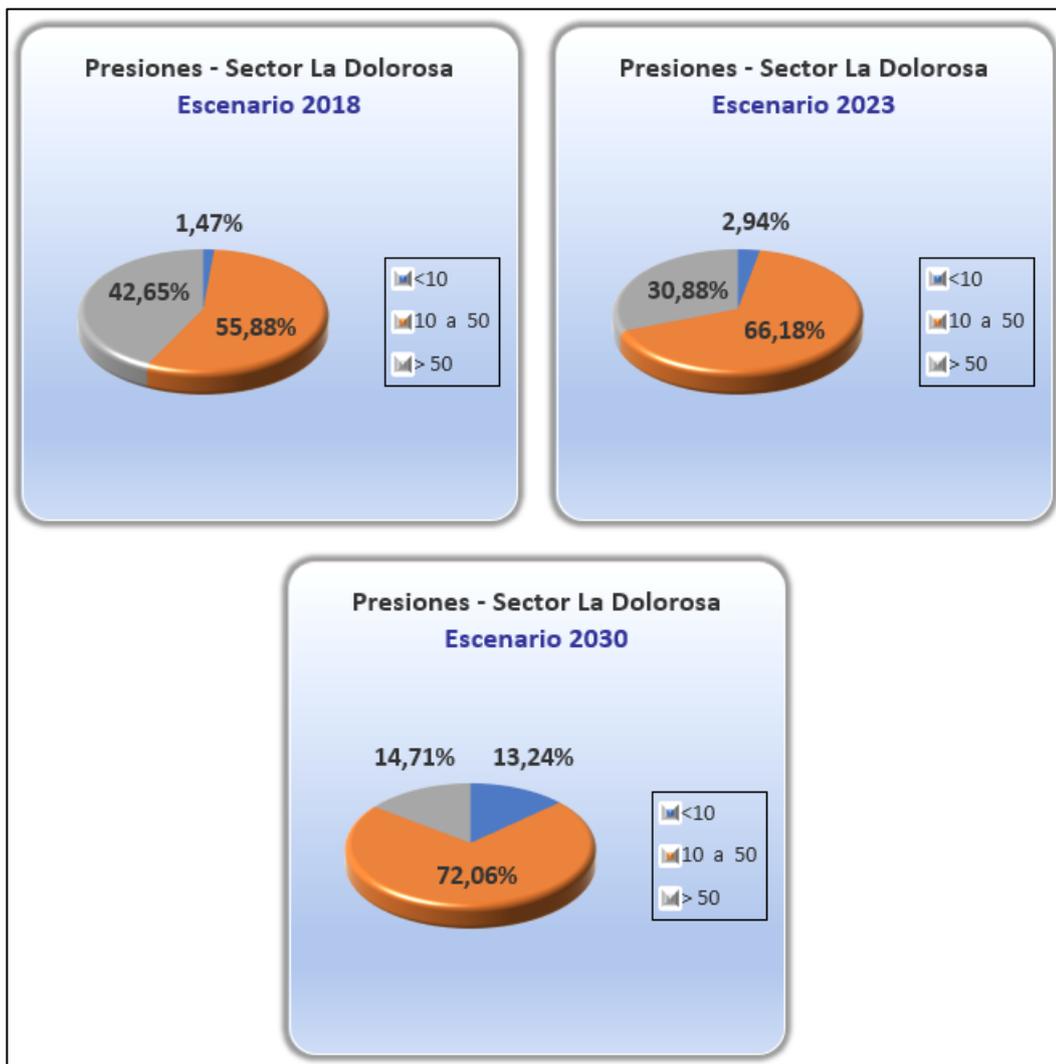
Anexo 2. Pérdidas Unitarias - Sector Azhapud

Rango (m/Km)	Cantidad de Tuberías por Escenario					
	2018		2023		2030	
<7	127	90,71%	127	90,71%	125	89,29%
7 a 12	1	0,71%	1	0,71%	3	2,14%
> 12	12	8,57%	12	8,57%	12	8,57%
Total	140	100,00%	140	100,00%	140	100,00%



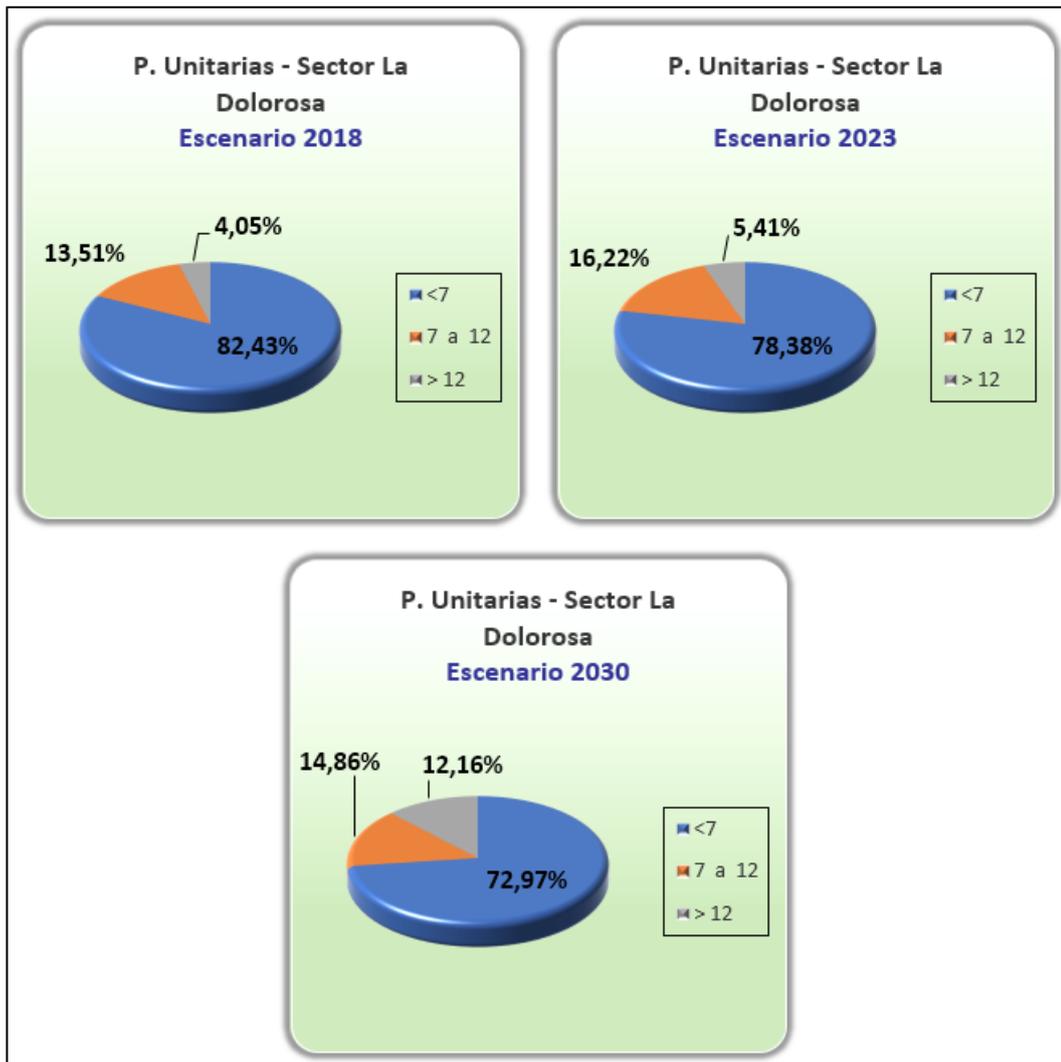
Anexo 3. Presiones - Sector La Dolorosa

Rango (m.c.a)	Cantidad de Nodos por Escenario					
	2018		2023		2030	
<10	1	1,47%	2	2,94%	9	13,24%
10 a 50	38	55,88%	45	66,18%	49	72,06%
> 50	29	42,65%	21	30,88%	10	14,71%
Total	68	100,00%	68	100,00%	68	100,00%



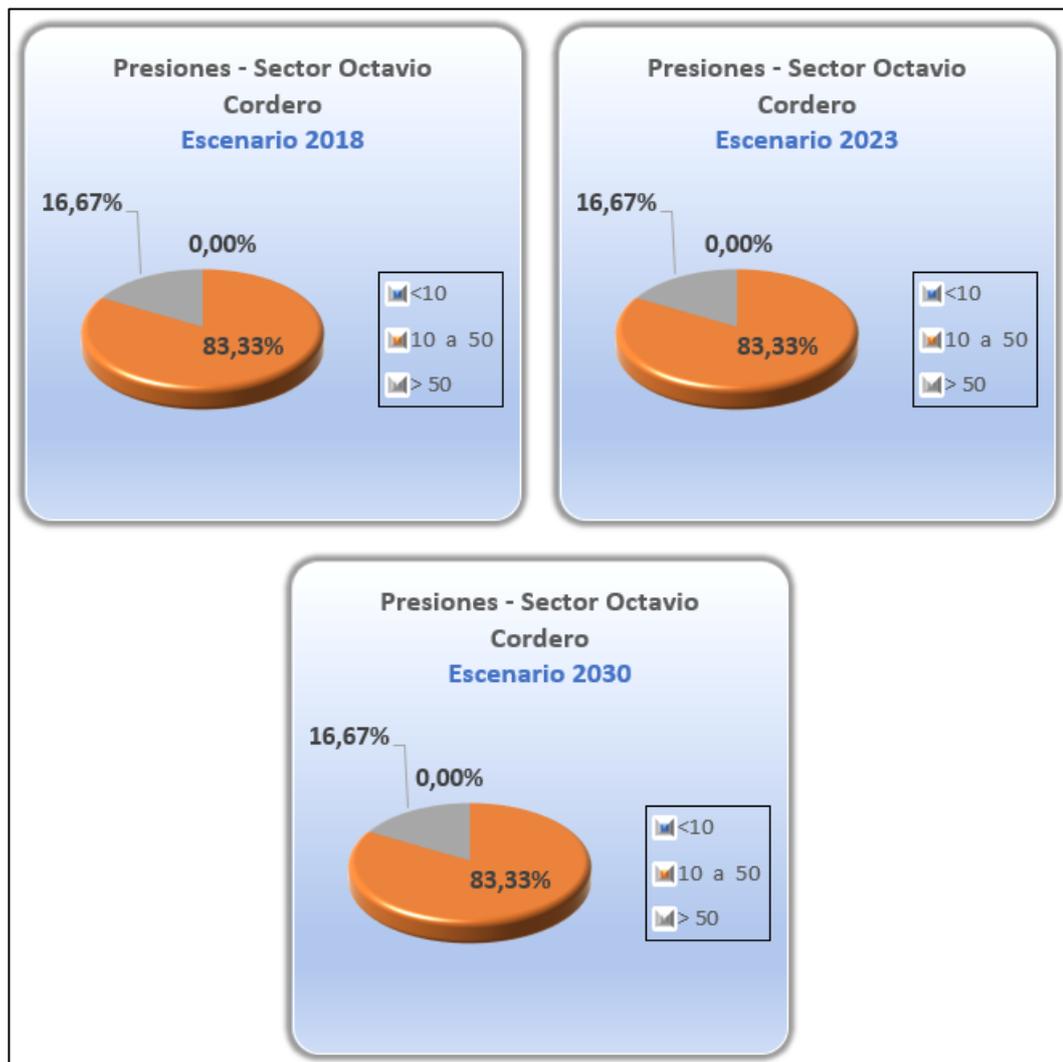
Anexo 4. Pérdidas Unitarias - Sector La Dolorosa

Rango (m/Km)	Cantidad de Tuberías por Escenario					
	2018		2023		2030	
<7	61	82,43%	58	78,38%	54	72,97%
7 a 12	10	13,51%	12	16,22%	11	14,86%
> 12	3	4,05%	4	5,41%	9	12,16%
Total	74	100,00%	74	100,00%	74	100,00%



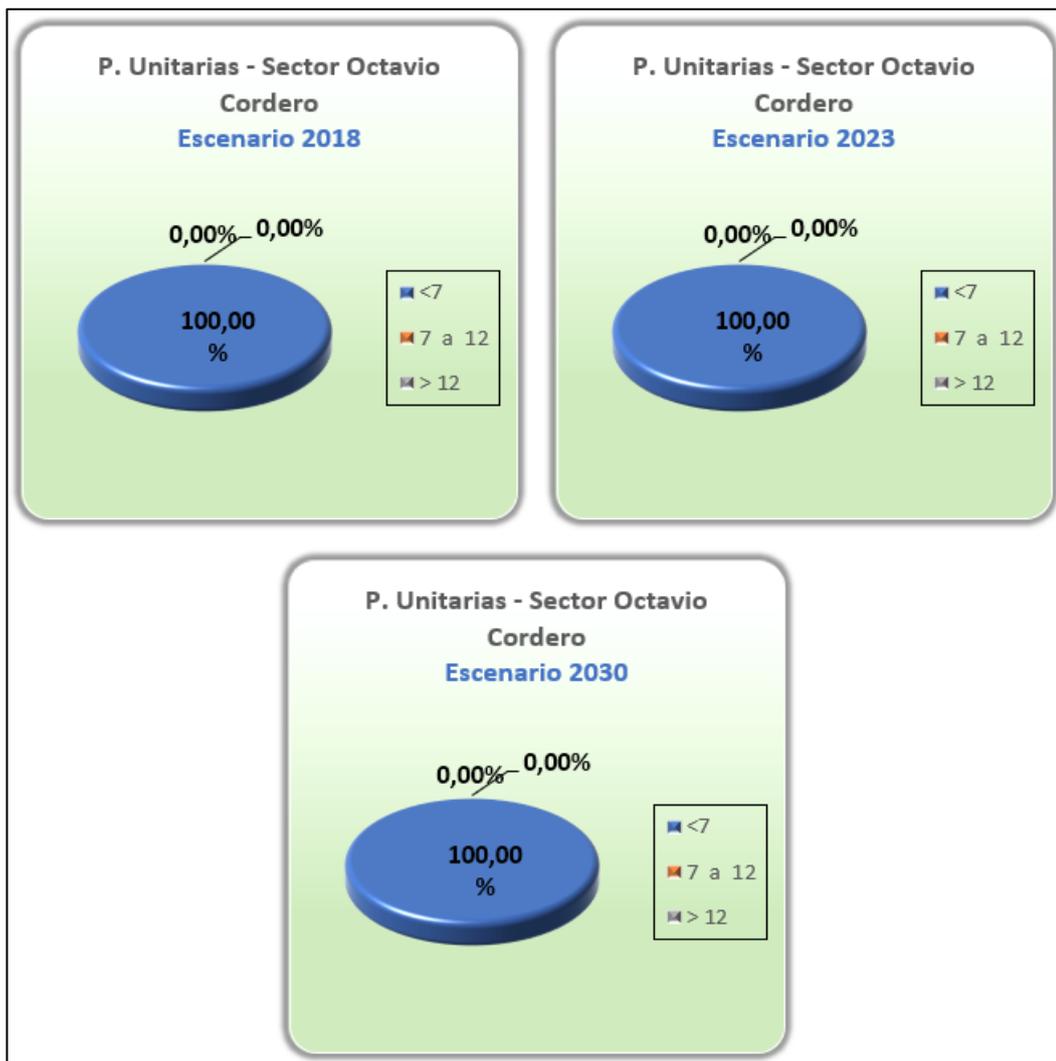
Anexo 5. Presiones - Sector Octavio Cordero

Rango (m.c.a)	Cantidad de Nodos por Escenario					
	2018		2023		2030	
<10	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
10 a 50	50	83,33%	50	83,33%	50	83,33%
> 50	10	16,67%	10	16,67%	10	16,67%
Total	60	100,00%	60	100,00%	60	100,00%



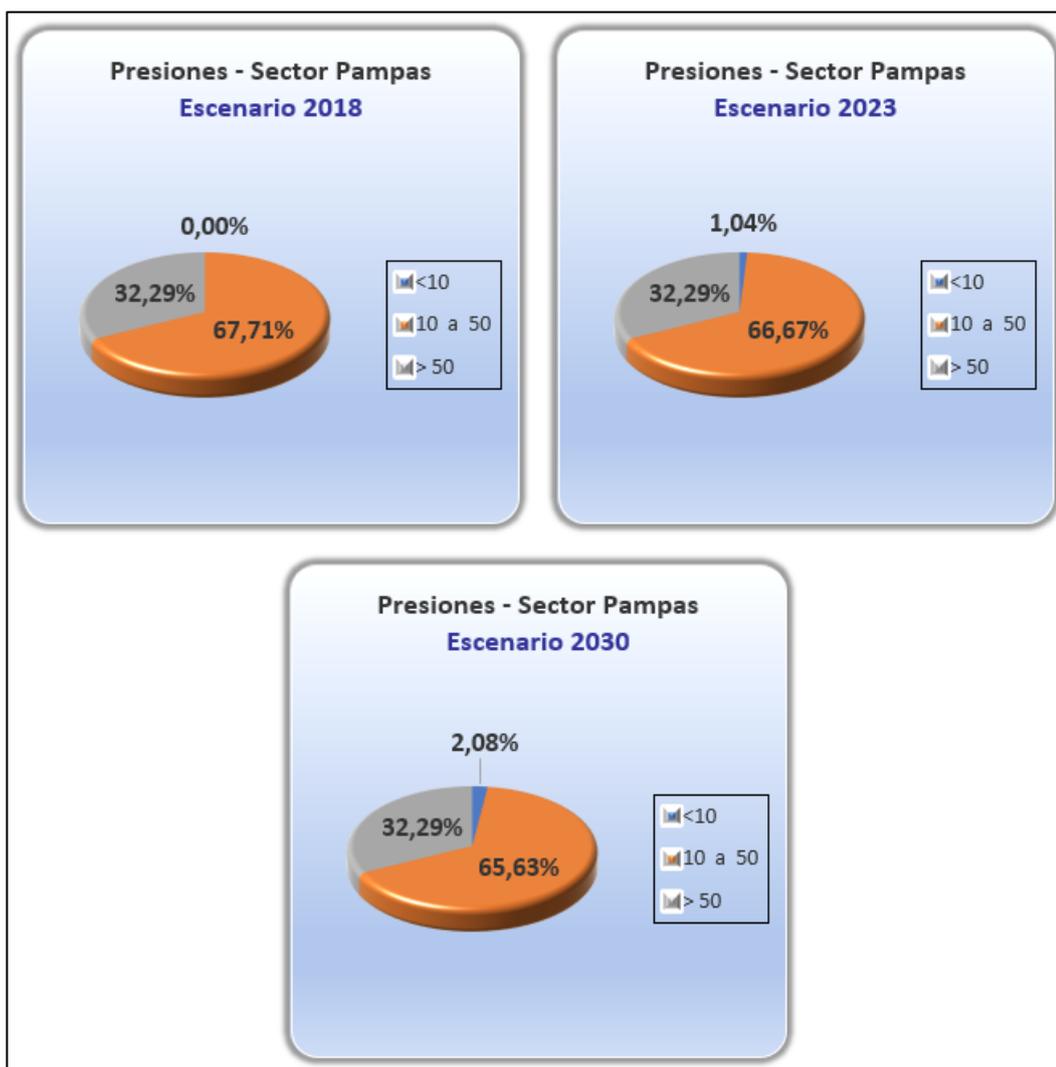
Anexo 6. Pérdidas Unitarias - Sector Octavio Cordero

Rango (m/Km)	Cantidad de Tuberías por Escenario					
	2018		2023		2030	
<7	71	100,00%	71	100,00%	71	100,00%
7 a 12	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
> 12	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Total	71	100,00%	71	100,00%	71	100,00%



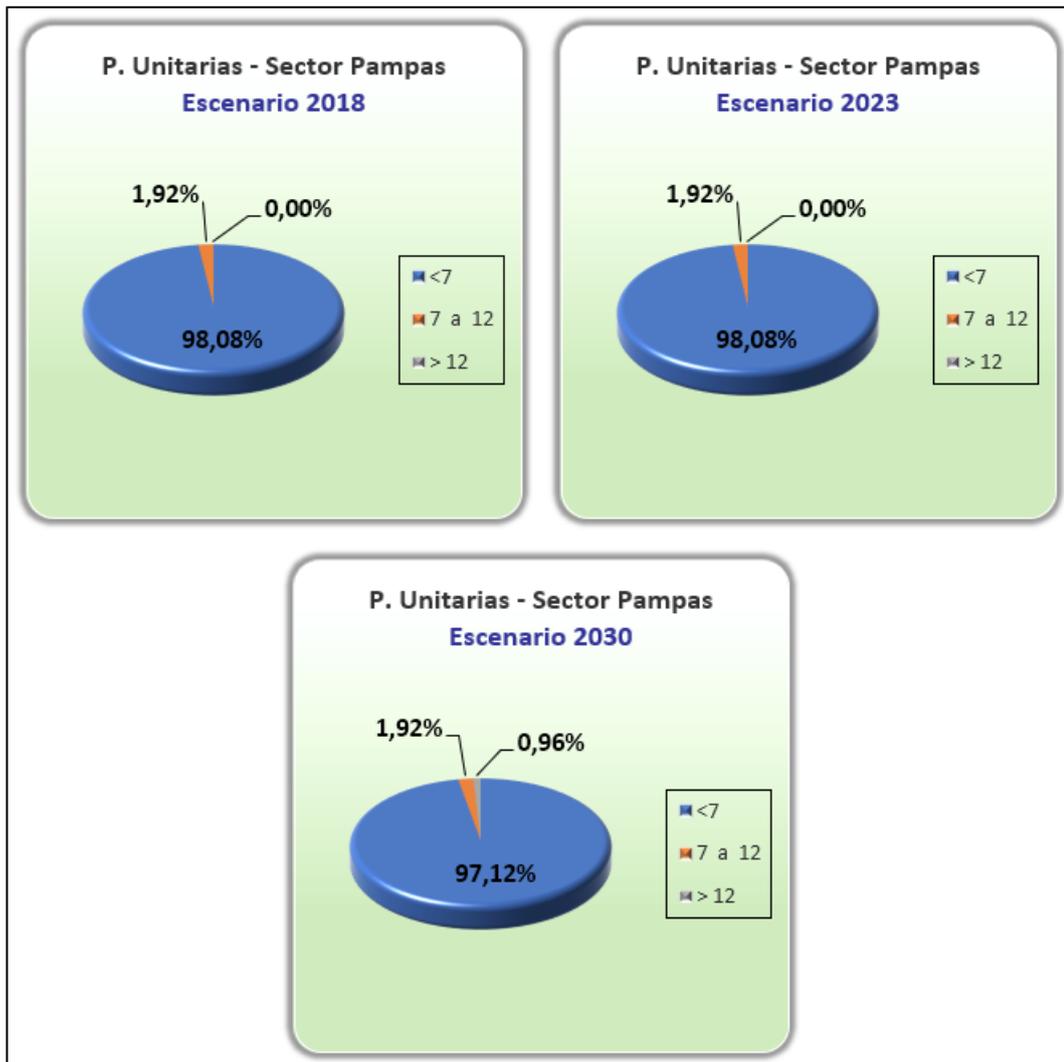
Anexo 7. Presiones - Sector Pampas

Rango (m.c.a)	Cantidad de Nodos por Escenario					
	2018		2023		2030	
<10	0	0,00%	1	1,04%	2	2,08%
10 a 50	65	67,71%	64	66,67%	63	65,63%
> 50	31	32,29%	31	32,29%	31	32,29%
Total	96	100,00%	96	100,00%	96	100,00%



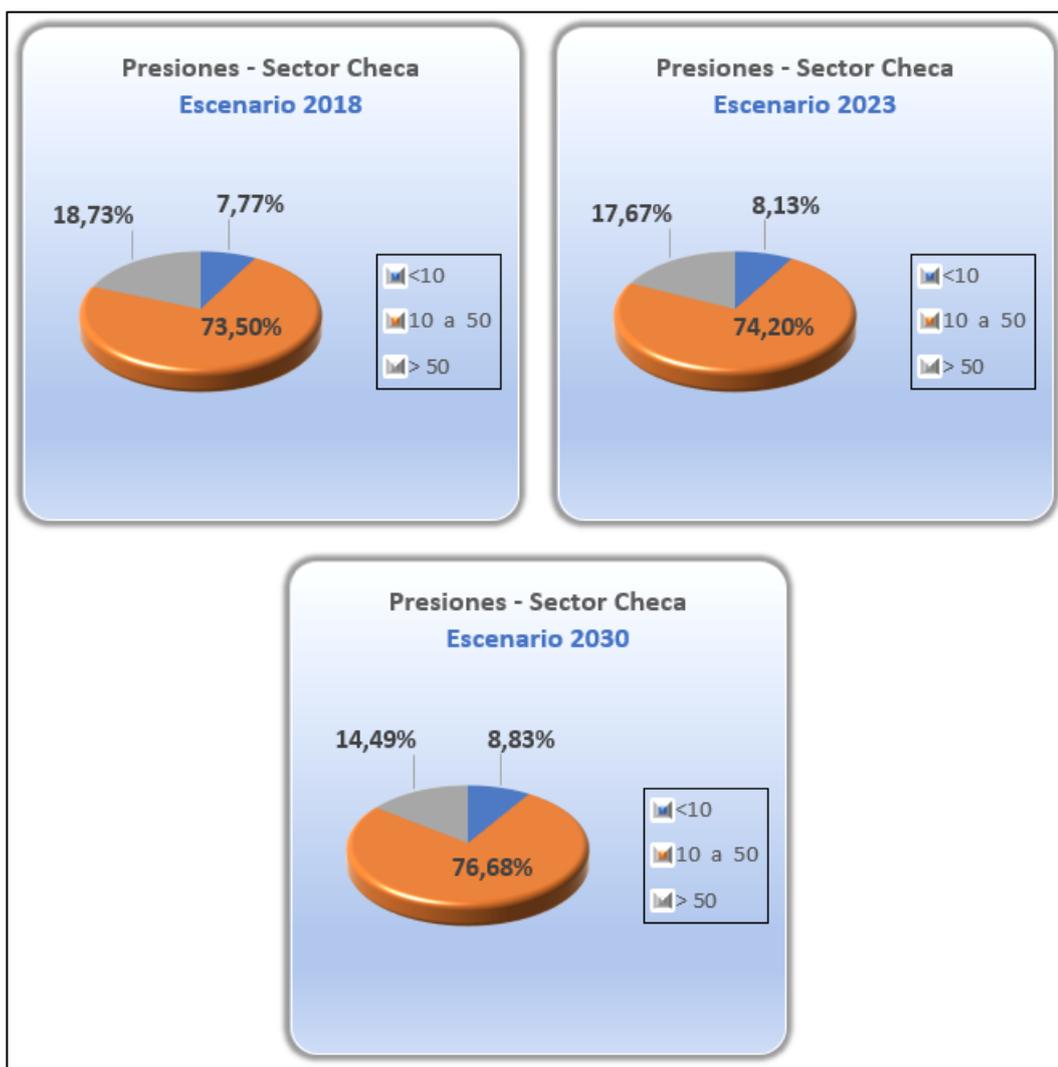
Anexo 8. Pérdidas Unitarias - Sector Pampas

Rango (m/Km)	Cantidad de Tuberías por Escenario					
	2018		2023		2030	
<7	102	98,08%	102	98,08%	101	97,12%
7 a 12	2	1,92%	2	1,92%	2	1,92%
> 12	0	0,00%	0	0,00%	1	0,96%
Total	104	100,00%	104	100,00%	104	100,00%



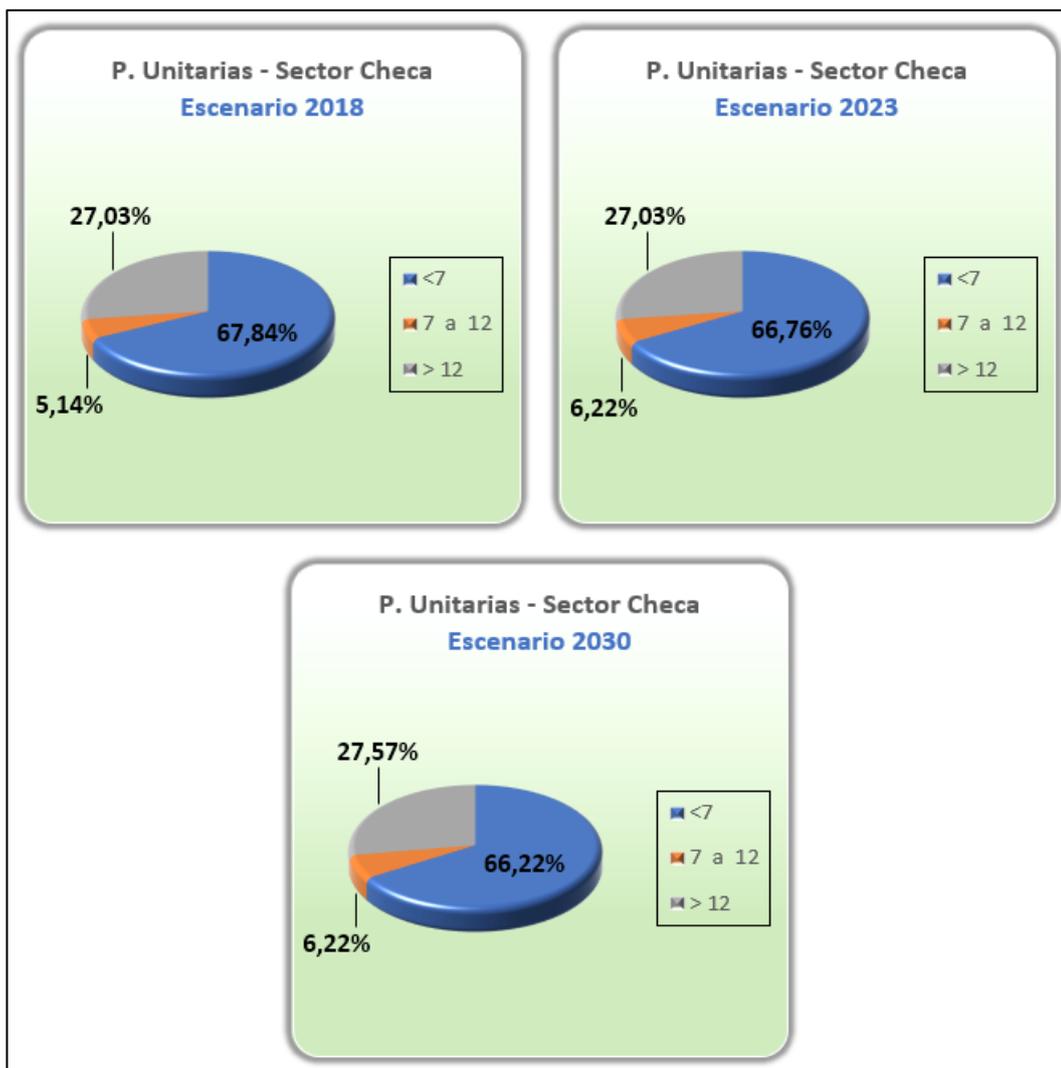
Anexo 9. Presiones - Sector Checa

Rango (m.c.a)	Cantidad de Nodos por Escenario					
	2018		2023		2030	
<10	22	7,77%	23	8,13%	25	8,83%
10 a 50	208	73,50%	210	74,20%	217	76,68%
> 50	53	18,73%	50	17,67%	41	14,49%
Total	283	100,00%	283	100,00%	283	100,00%



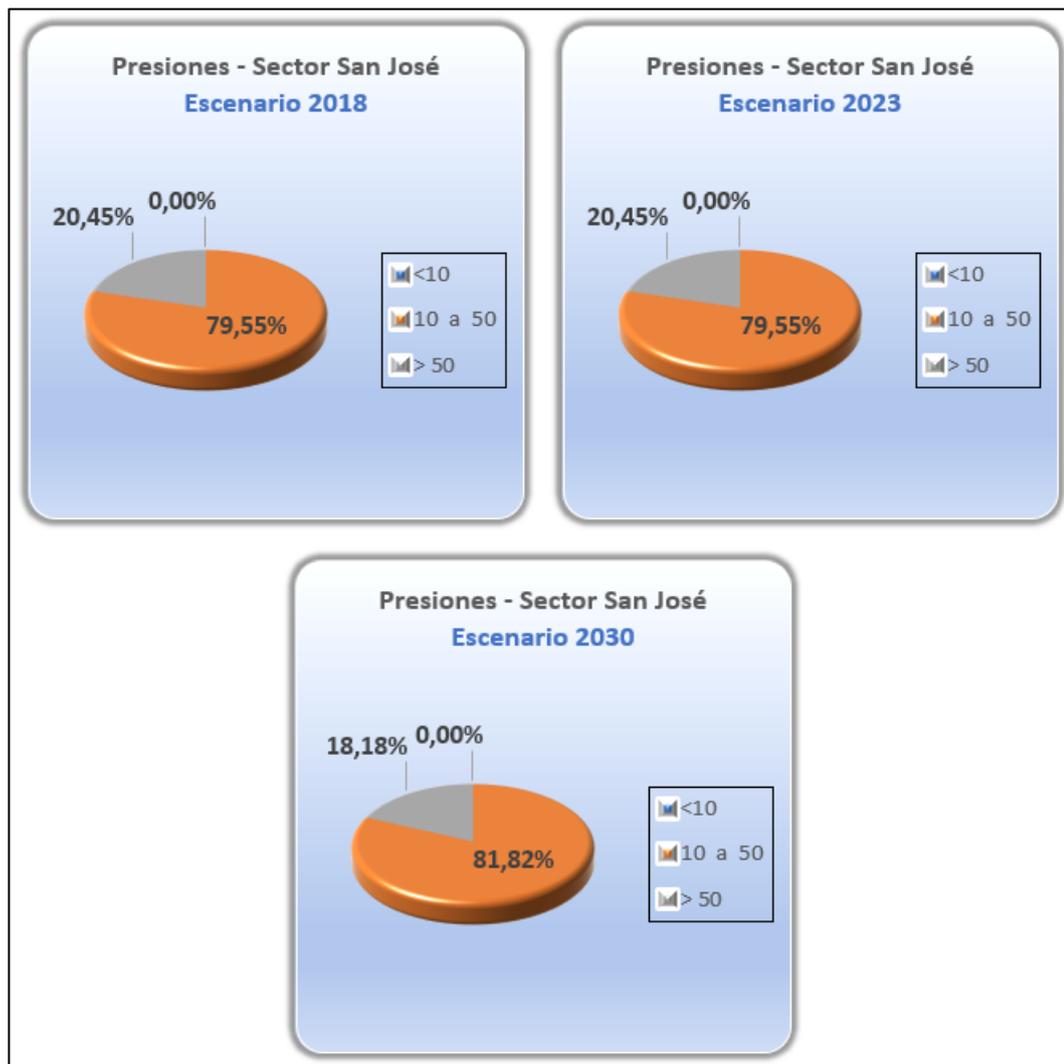
Anexo 10. Pérdidas Unitarias - Sector Checa

Rango (m/Km)	Cantidad de Tuberías por Escenario					
	2018		2023		2030	
<7	251	67,84%	247	66,76%	245	66,22%
7 a 12	19	5,14%	23	6,22%	23	6,22%
> 12	100	27,03%	100	27,03%	102	27,57%
Total	370	100,00%	370	100,00%	370	100,00%



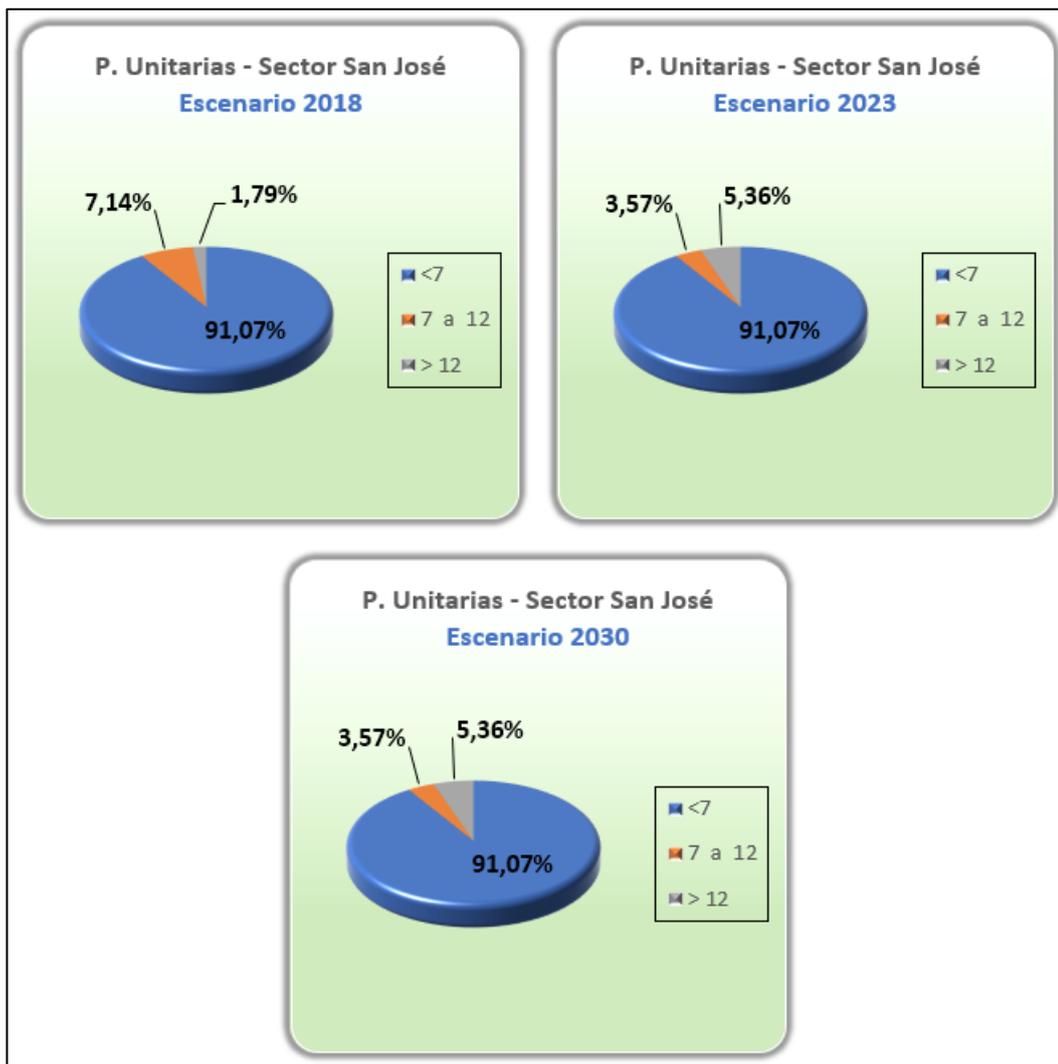
Anexo 11. Presiones - Sector San José

Rango (m.c.a)	Cantidad de Nodos por Escenario					
	2018		2023		2030	
<10	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
10 a 50	35	79,55%	35	79,55%	36	81,82%
> 50	9	20,45%	9	20,45%	8	18,18%
Total	44	100,00%	44	100,00%	44	100,00%



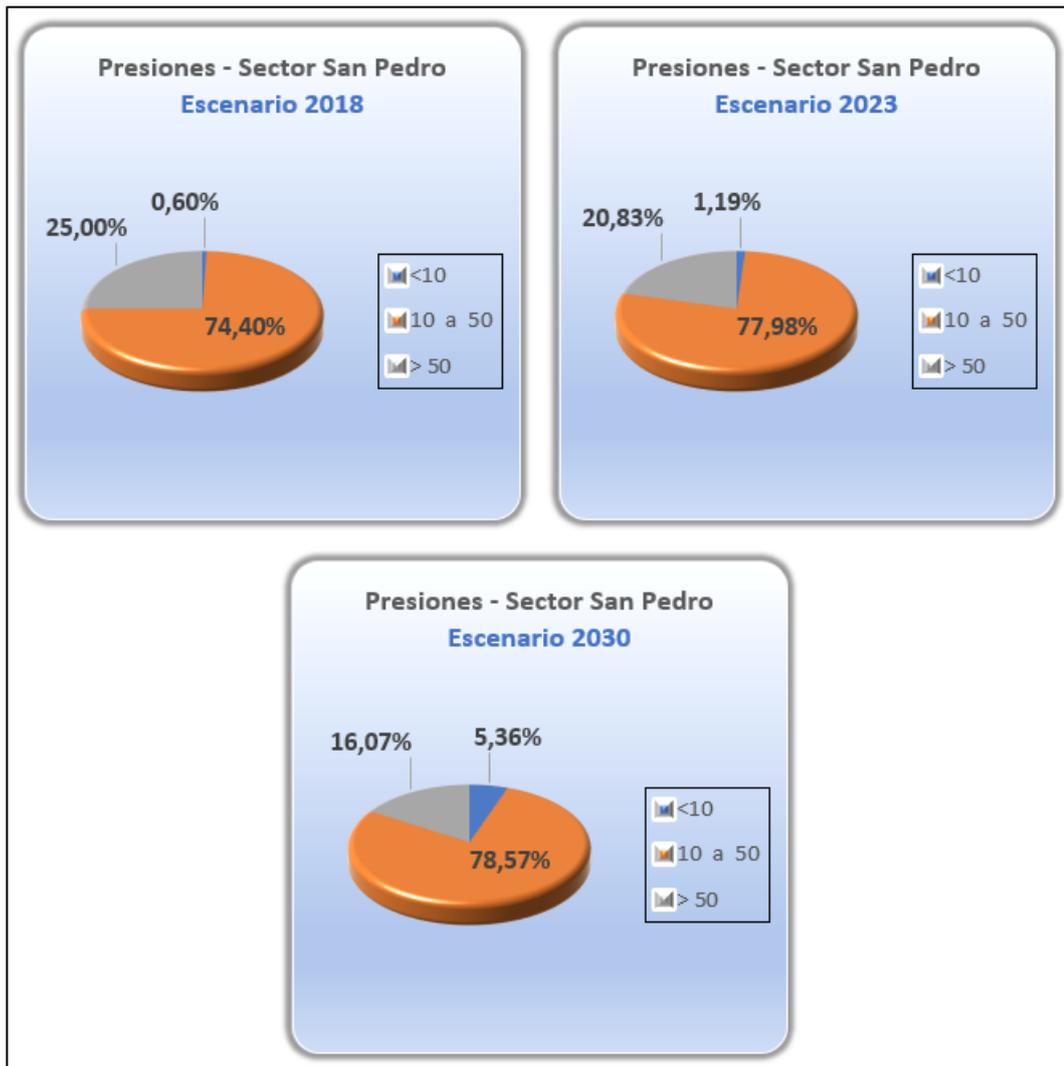
Anexo 12. Pérdidas Unitarias - Sector San José

Rango (m/Km)	Cantidad de Tuberías por Escenario					
	2018		2023		2030	
<7	51	91,07%	51	91,07%	51	91,07%
7 a 12	4	7,14%	2	3,57%	2	3,57%
> 12	1	1,79%	3	5,36%	3	5,36%
Total	56	100,00%	56	100,00%	56	100,00%



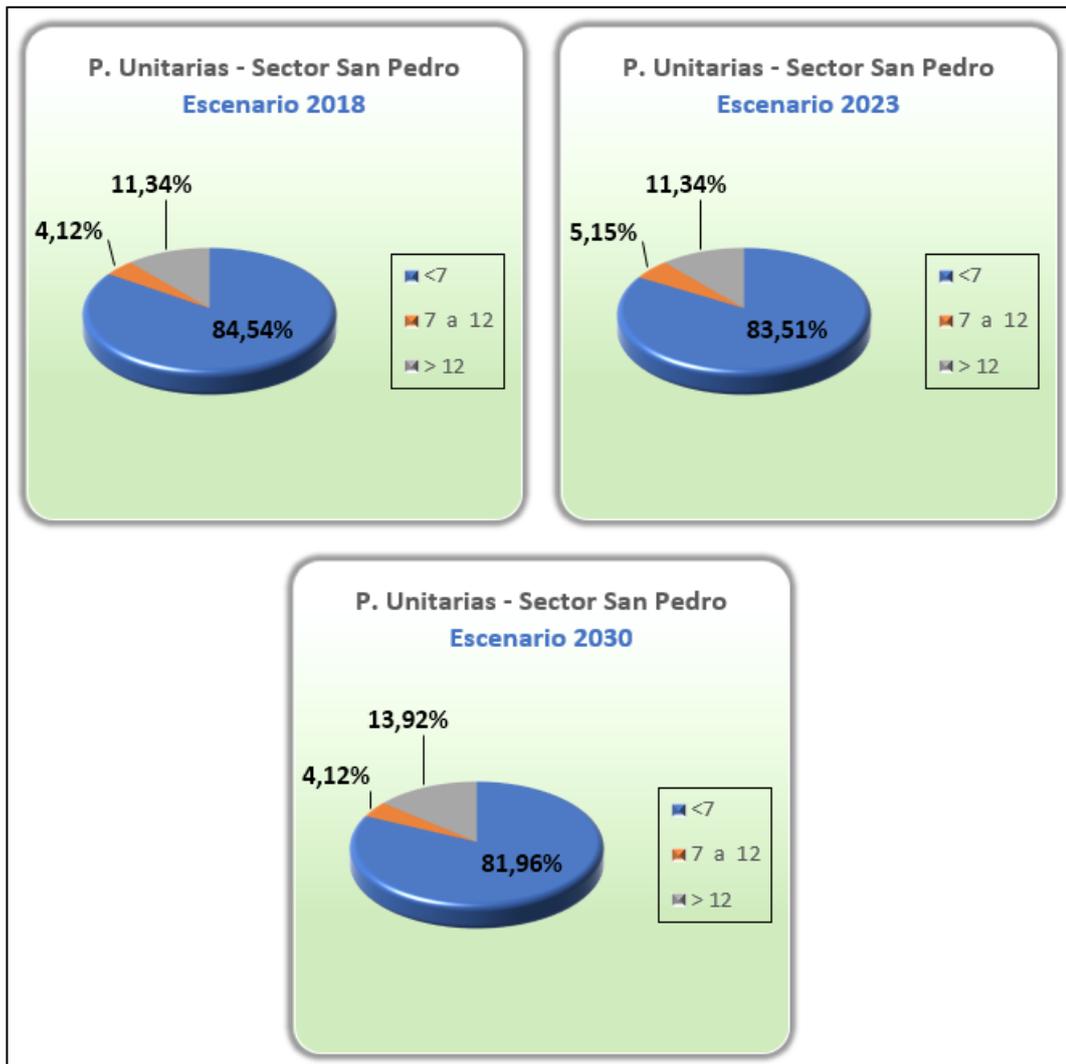
Anexo 13. Presiones - Sector San Pedro

Rango (m.c.a)	Cantidad de Nodos por Escenario					
	2018		2023		2030	
<10	1	0,60%	2	1,19%	9	5,36%
10 a 50	125	74,40%	131	77,98%	132	78,57%
> 50	42	25,00%	35	20,83%	27	16,07%
Total	168	100,00%	168	100,00%	168	100,00%



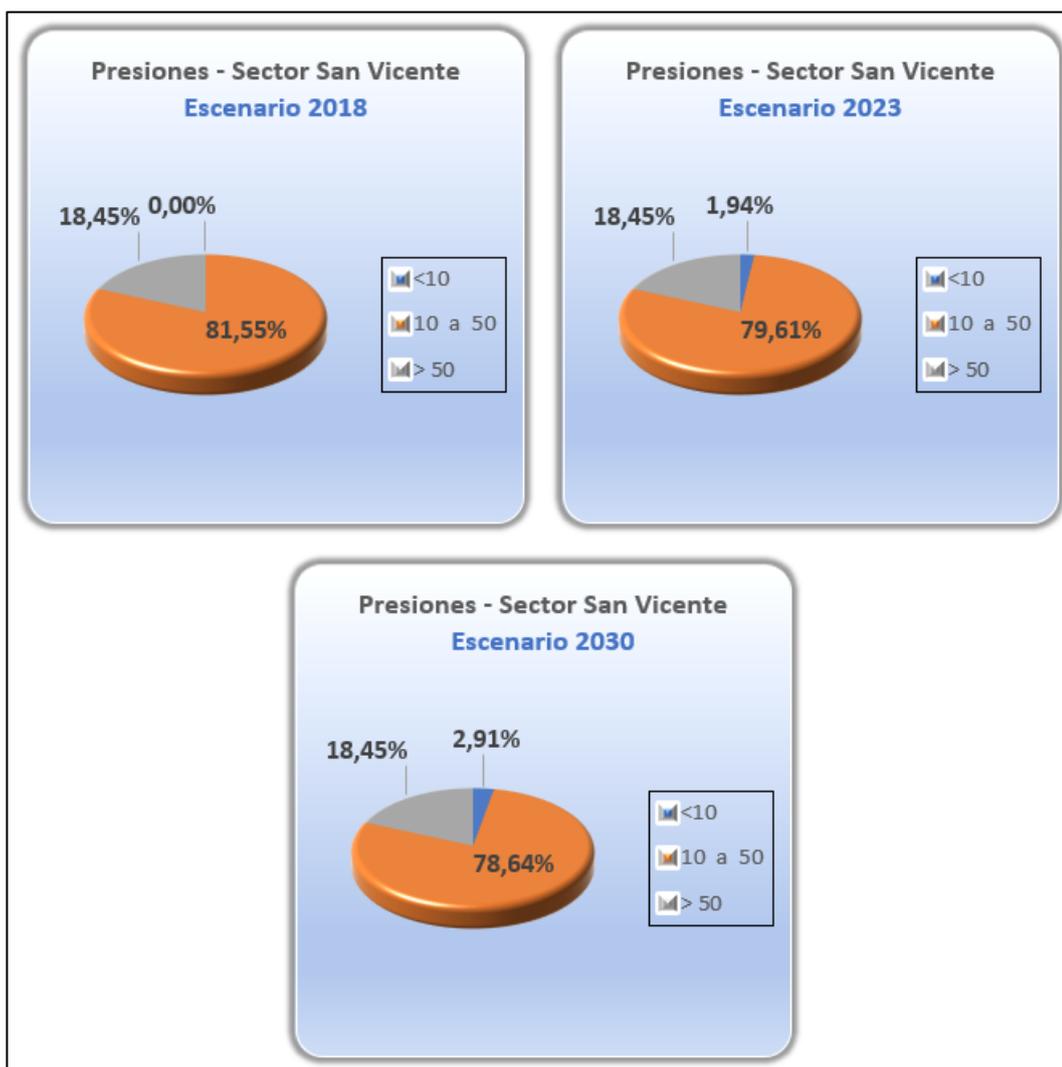
Anexo 14. Pérdidas Unitarias - Sector San Pedro

Rango (m/Km)	Cantidad de Tuberías por Escenario					
	2018		2023		2030	
<7	164	84,54%	162	83,51%	159	81,96%
7 a 12	8	4,12%	10	5,15%	8	4,12%
> 12	22	11,34%	22	11,34%	27	13,92%
Total	194	100,00%	194	100,00%	194	100,00%



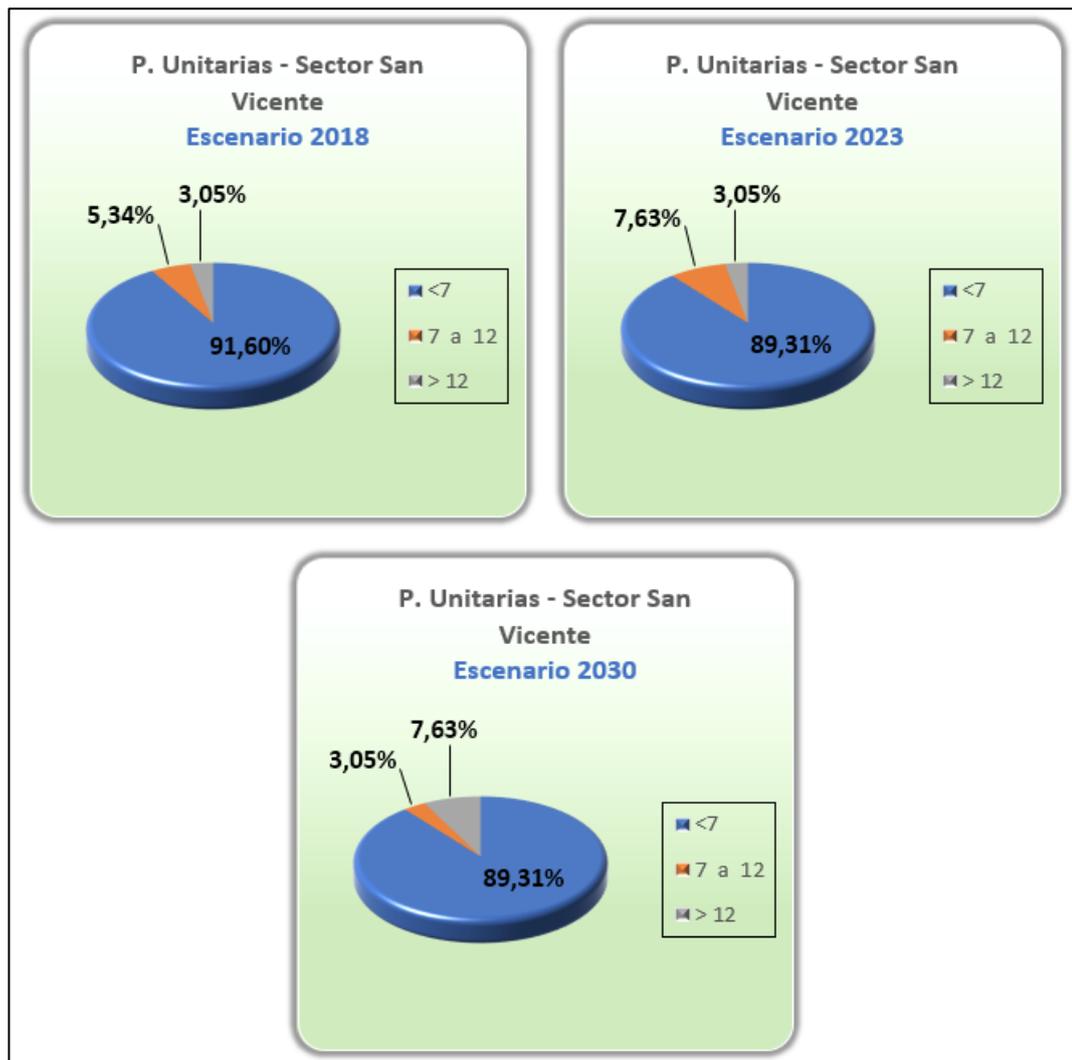
Anexo 15. Presiones - Sector San Vicente

Rango (m.c.a)	Cantidad de Nodos por Escenario					
	2018		2023		2030	
<10	0	0,00%	2	1,94%	3	2,91%
10 a 50	84	81,55%	82	79,61%	81	78,64%
> 50	19	18,45%	19	18,45%	19	18,45%
Total	103	100,00%	103	100,00%	103	100,00%



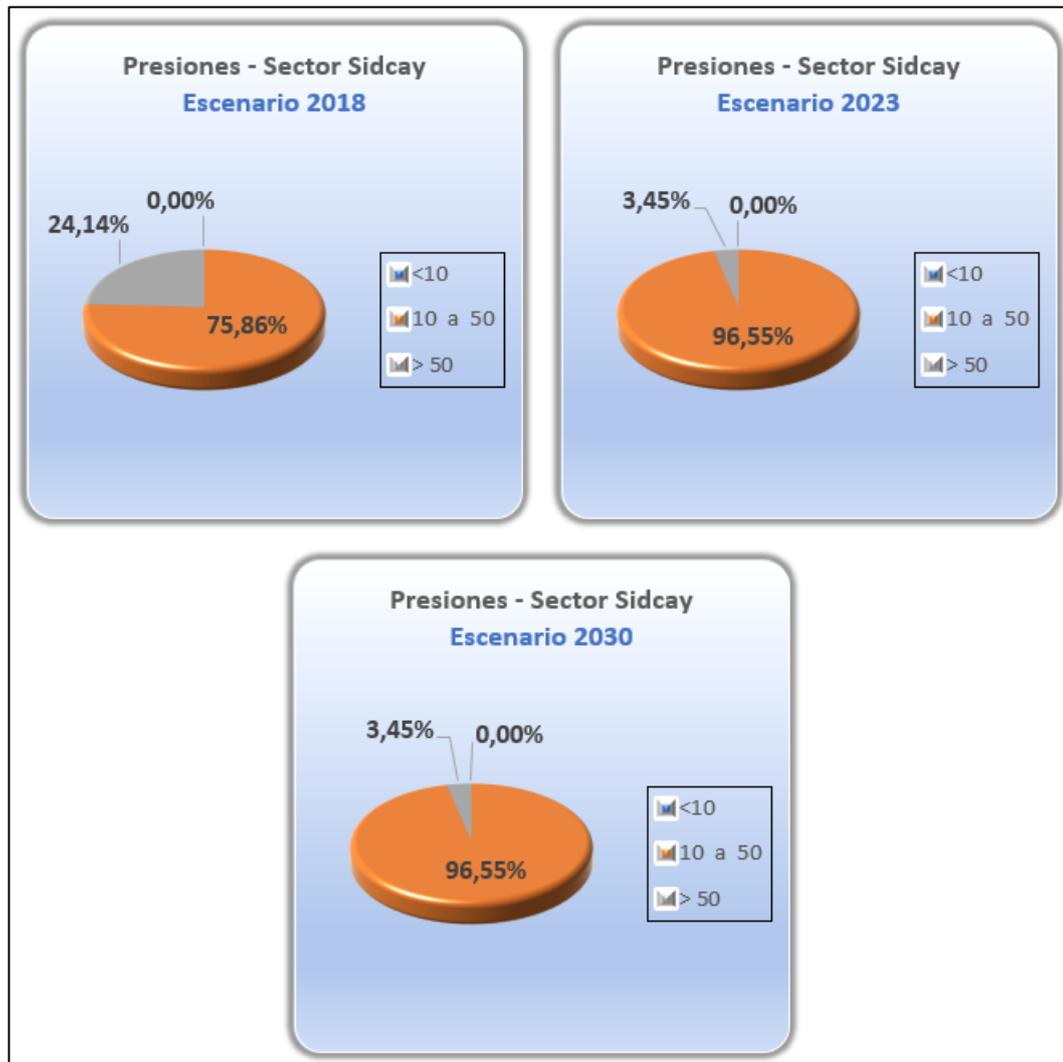
Anexo 16. Pérdidas Unitarias - Sector San Vicente

Rango (m/Km)	Cantidad de Tuberías por Escenario					
	2018		2023		2030	
<7	120	91,60%	117	89,31%	117	89,31%
7 a 12	7	5,34%	10	7,63%	4	3,05%
> 12	4	3,05%	4	3,05%	10	7,63%
Total	131	100,00%	131	100,00%	131	100,00%



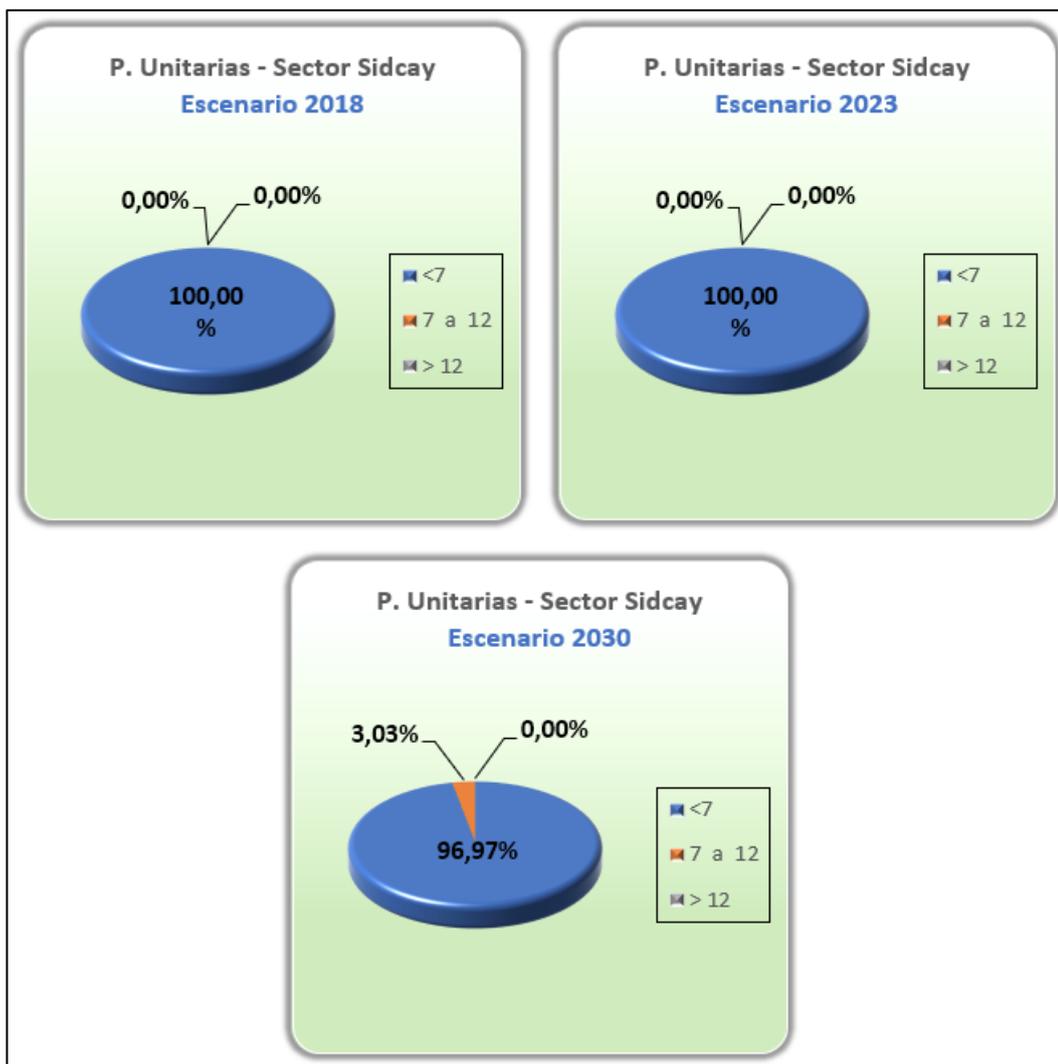
Anexo 17. Presiones - Sector Sidcay

Rango (m.c.a)	Cantidad de Nodos por Escenario					
	2018		2023		2030	
<10	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
10 a 50	22	75,86%	28	96,55%	28	96,55%
> 50	7	24,14%	1	3,45%	1	3,45%
Total	29	100,00%	29	100,00%	29	100,00%



Anexo 18. Pérdidas Unitarias - Sector Sidcay

Rango (m/Km)	Cantidad de Tuberías por Escenario					
	2018		2023		2030	
<7	33	100,00%	33	100,00%	32	96,97%
7 a 12	0	0,00%	0	0,00%	1	3,03%
> 12	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Total	33	100,00%	33	100,00%	33	100,00%



BIBLIOGRAFÍA

- ArcGIS. (30 de Junio de 2017). *ArcGIS for desktop*. Obtenido de ArcGIS for desktop:
<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/main/map/a-quick-tour-of-arcmap.htm>
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Manual: criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico*. Lima: Dirección de estudios de proyectos hidráulicos multisectoriales.
- Bentley Systems Incorporated. (11 de julio de 2017). *Bentley WaterGEMS*. Obtenido de Bentley WaterGEMS: <https://www.bentley.com/es/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watergems>
- Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07 - 601. (18 de Agosto de 1992). *Secretaría del Agua*. Recuperado el 11 de Octubre de 2017, de http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_rural_para_estudios_y_disenos.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Coyoacán: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Diseño de redes de distribución de agua potable*. Mexico D.F: Conagua.
- Crane. (1987). *Flujo de fluido: en válvulas, accesorios y tuberías*. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- ETAPA EP. (2001). *Estudios y Diseños Definitivos del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable desde la Quebrada el Soroche y el Río Chulco*. Cuenca.
- ETAPA EP. (29 de Marzo de 2017). *etapa*. Obtenido de etapa:
http://www.etapa.net.ec/Noticias/newid/122/title/PLANTA_DE_AGUA_CHULCO_SOROCHES_INICIA_PRIMERAS_PRUEBAS_DE_FUNCIONAMIENTO
- Ordóñez Martínez, F. (2007). *Ecuador: análisis del sector agua potable y saneamiento*. Caracas: Corporación Andina de Fomento.
- Ortiz Vidal, L. E., Cabanillas Maury, D. E., & Fierro Chipana, R. A. (2010). Equilibrio hidráulico en sistemas de bombeo minero. *Revista chilena de ingeniería*, 335-342.
- Otter, C. (2010). *Autodesk*. Obtenido de Autodesk:
http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0ahUKEwi_gu_-uXUAhUKSiYKHSKxBQwQFghKMAY&url=http%3A%2F%2Fwww.npsys.es%2Fimage%2FFolletoAcadCivil3d.pdf&usg=AFQjCNGbXvenUomFuXbkNEFuqJrIdl_Lw
- Piñuela, M. J. (2016). *La sociedad internacional y el derecho al agua: la situación en el siglo XXI*. Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca.
- Rocha Felices, A. (2007). *Hidraulica de tuberias y canales*. Lima.

Toinga Yansaguano, J. L. (29 de Junio de 2016). *Repositorio digital Universidad tecnica de Ambato*. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24045>

V. Giles, R. (1994). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. España: McGraw-Hill.