



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

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

**Actualización de la modelación hidráulica de los sistemas de  
distribución para el abastecimiento de agua potable de la  
parroquia de El Valle, en los sectores: Santa Teresita,  
Castilla Cruz, El Censo, Rayoloma, Paccha y Cochas.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE:**

**INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

**AUTORES:**

**HURTADO LEÓN MARÍA BELÉN**

**TACURI PILLCO CARLOS SANTIAGO**

**DIRECTOR:**

**JOSUÉ BERNARDO LARRIVA VÁSQUEZ**

**CUENCA – ECUADOR  
2018**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de tesis se lo dedico principalmente a Dios porque me ha dado la vida y la oportunidad de estar donde estoy, él me ha dado todo lo que tengo: a mi madre Esthela León y mi padre Gil Blas Hurtado quienes han hecho grandes esfuerzos y sacrificios para hacerme llegar a esta etapa tan importante en mi vida, con sus consejos y su amor; a lo más valioso que tengo, mi hijo Felipe Sebastián Robles y mi esposo Felipe Robles, pues son mi motivación y mi inspiración para despertarme y seguir adelante todos los días, gracias a su amor, comprensión y paciencia; a mis hermanos Andrés Hurtado y Pedro Hurtado quienes han sido el pilar fundamental en mis estudios desde pequeña; y por ultimo a mis segundos padres Fabiola Hidalgo y Cleber Robles, mis suegros, quienes me han apoyado con su cariño y confianza para cumplir con mis objetivos.

María Belén Hurtado León

Dedico este proyecto de tesis primeramente a Dios porque ha sido la fortaleza y sabiduría que me ha llevado a cumplir esta nueva meta en mi vida.

A mis padres Carlos Daniel Tacuri y Laura Pillco por estar siempre apoyándome en cada una de mis decisiones académicas; por hacer un gran esfuerzo durante toda mi vida con la finalidad de ser un profesional y sobre todo mejor persona.

A mis hermanos Elizabeth, Maritza, Verónica y Juan por su apoyo incondicional en todo este proceso académico.

Carlos Santiago Tacuri Pillco

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestros agradecimientos:

A nuestro director de tesis, Ing. Josué Bernardo Larriva Vásquez, Mst, por darnos la oportunidad y la confianza para desarrollar bajo su dirección este trabajo de titulación. Por compartirnos sus conocimientos y brindarnos el apoyo necesario para que este trabajo sea de excelencia y calidad.

A la empresa ETAPA EP, por la gran acogida que nos brindaron en cada uno de sus departamentos, en especial a la Ing. Verónica Chumi Buenaño, quien con sus conocimientos fue parte fundamental de nuestro trabajo, asesorándonos en todos los temas con su carisma y paciencia.

A todos los miembros que conforman la facultad de Ciencia y Tecnología, maestros y amigos, que estuvieron desde el inicio de este gran camino que nos tocó recorrer juntos, en buenos y malos momentos, apoyándonos mutuamente para cosechar lo aprendido y compartiendo grandes recuerdos.

## INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
INDICE DE CONTENIDOS .....	iv
INDICE DE FIGURAS .....	vi
INDICE DE TABLAS .....	viii
INDICE DE ANEXOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT .....	x
INTRODUCCIÓN .....	1
Antecedentes .....	2
Justificación.....	2
Alcance.....	3
Objetivos .....	3
Objetivo General .....	3
Objetivos Específicos.....	3
CAPITULO I.....	4
1    CONCEPTOS PRELIMINARES .....	4
1.1    Información cartográfica .....	4
1.2    Redes de abastecimiento de agua potable .....	4
1.3    Hidráulica de tuberías.....	5
1.3.1    Flujo permanente.....	5
1.3.2    Ecuación de la energía .....	5
1.3.3    Ecuación de la continuidad .....	6
1.3.4    Fórmula de Darcy-Weisbach.....	6
1.3.5    Fórmula de Hazen Williams .....	7
1.3.6    Fórmula de Manning.....	7
1.3.7    Flujo no permanente.....	8
1.4    Aplicación de AutoCAD Map 3D .....	8
1.5    Aplicación de ARC MAP .....	9
1.6    Aplicación de WaterGEMS.....	9
1.7    Criterios para la evaluación de una red de distribución .....	10
1.7.1    Velocidades .....	10
1.7.2    Presión.....	10

1.7.3	Caudal .....	10
1.7.4	Diámetros .....	10
1.7.5	Pérdidas de carga.....	11
1.7.6	Rugosidad del material.....	11
1.7.7	Elevaciones .....	11
CAPITULO II .....		12
2	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	12
2.1	Información demográfica .....	12
2.2	Información topográfica .....	13
2.3	Información Catastral .....	16
2.4	Consumos .....	18
2.5	Dotaciones .....	18
CAPITULO III .....		19
3	MODELACIÓN HIDRÁULICA .....	19
3.1	Elementos hidráulicos en una red de distribución de agua potable.....	19
3.1.1	Tanque de almacenamiento.....	19
3.1.2	Red de distribución de agua .....	20
3.1.3	Accesorios .....	20
3.1.4	Reductores de presión .....	20
3.1.5	Válvulas rompe presiones .....	20
3.1.6	Válvulas de control .....	20
3.1.7	Válvulas de operación .....	20
3.1.8	Hidrantes .....	21
3.2	Actualización de los modelos hidráulicos con el software WaterGEMS....	21
3.2.1	Tuberías.....	21
3.2.2	Tanque de almacenamiento.....	23
3.2.3	Válvula de aire .....	23
3.2.4	Válvula de purga .....	23
3.2.5	Válvula de control .....	24
3.2.6	Estación reductora de presión .....	24
3.2.7	Hidrante.....	24
3.3	Información del WaterGEMS al ArcGis .....	24
3.4	Asignación de propiedades utilizando GIS .....	26
3.4.1	Cálculo de áreas de aporte.....	27
3.4.2	Lectura de usuarios con sistema de medidores .....	30

3.4.3	Cálculo de caudales.....	32
3.5	Elaboración del modelo hidráulico en el software .....	36
3.5.1	Parámetros y unidades hidráulicas .....	36
3.5.2	Información de GIS a WaterGEMS .....	37
3.5.3	Datos en campo .....	46
3.5.4	Elección de criterio para calibrar en régimen permanente.....	50
3.5.5	Simulación en periodo extendido.....	60
3.5.6	Resultados .....	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		75
Conclusiones .....		75
Recomendaciones.....		76
ANEXOS .....		77
BIBLIOGRAFIA .....		82

### INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Sectores de la parroquia El Valle.....	4
Figura 1.2	Interfaz <i>Autocad Map 3D</i> .....	8
Figura 1.3	Interfaz <i>ArcMap</i> .....	9
Figura 1.4	Interfaz WaterGEMS .....	10
Figura 2.1	Topografía Cochas.....	14
Figura 2.2	Topografía Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo .....	14
Figura 2.3	Topografía Paccha .....	15
Figura 2.4	Topografía Rayoloma .....	15
Figura 2.5	Catastro Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo.....	16
Figura 2.6	Catastro Cochas .....	17
Figura 2.7	Catastro Paccha.....	17
Figura 2.8	Dotación media futura .....	18
Figura 3.1	Grafica de tubería .....	21
Figura 3.2	Ventana de propiedades del nodo .....	22
Figura 3.3	Ventana de propiedades de Tubería.....	22
Figura 3.4	Grafico de tuberías.....	23
Figura 3.5	Barra de herramientas View .....	25
Figura 3.6	Ventana Flex Tables .....	25
Figura 3.7	Ventana Flex Tables: Junction Table .....	26
Figura 3.8	Tabla de atributos del archivo de nodos exportado desde WaterGEMS ..	28
Figura 3.9	Polígonos de thiessen de Rayoloma .....	29
Figura 3.10	Ventana Add field.....	29
Figura 3.11	Resultados de áreas automáticamente calculadas.....	30
Figura 3.12	Pantalla de visualización de medidores en Santa Teresita Castilla Cruz y El Censo .....	31
Figura 3.13	Niveles de Servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos.....	32

Figura 3.14 Porcentaje de fugas en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable.....	33
Figura 3.15 Resultados de demandas calculadas para el sector de Rayoloma.....	33
Figura 3.16 Condiciones del factor de mayoración .....	35
Figura 3.17 Tabla de atributos con demandas calculadas de medidores.....	35
Figura 3.18 Ventana de unidades de WaterGEMS .....	36
Figura 3.19 TRex Wizard para cargar elevaciones .....	38
Figura 3.20 Elevaciones cargadas en Trex Wizard.....	39
Figura 3.21 LoadBuilder Wizard demandas para áreas de aporte .....	40
Figura 3.22 Ventana de campos para cargar archivo de demandas para áreas de aporte.....	41
Figura 3.23 Demandas cargadas por el método de áreas de aporte .....	41
Figura 3.24 Determinación de Label para demandas por el método de áreas de aporte .....	42
Figura 3.25 Historial de demandas cargadas en el modelo .....	42
Figura 3.26 Escenarios del modelo .....	43
Figura 3.27 LoadBuilder Wizard demandas para medidores.....	43
Figura 3.28 Ventana de campos para cargar archivo de demandas para medidores..	44
Figura 3.29 Demandas cargadas por el método de medidores.....	45
Figura 3.30 Determinación de label para demandas por el método de medidores ....	45
Figura 3.31 Ubicaciones y presiones de Cochas.....	46
Figura 3.32 Ubicaciones y presiones de Paccha .....	47
Figura 3.33 Ubicaciones y presiones de Rayoloma .....	48
Figura 3.34 Ubicaciones y presiones de Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo ...	49
Figura 3.35 Ventana Calibration Criteria.....	50
Figura 3.36 Ventana Field Data Snapshots .....	51
Figura 3.37 Ubicaciones y presiones de Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo ...	51
Figura 3.38 Ventana Selection Set para todas las tuberías de PVC.....	52
Figura 3.39 Ventana Roughness Groups.....	52
Figura 3.40 Ventana Roughness de la simulación base manual .....	53
Figura 3.41 Ventana Fiel Data de la simulación base manual .....	53
Figura 3.42 Solutions número Fitness de la simulación base manual.....	54
Figura 3.43 Ventana simulador de resultados / Solution 1 de simulación base manual .....	54
Figura 3.44 Correlation Graph de la simulación base manual .....	55
Figura 3.45 Ventana Roughness de la calibración manual .....	55
Figura 3.46 Solutions número Fitness de la calibración manual .....	56
Figura 3.47 Ventana simulador de resultados / Solution 1 de la Calibración manual	56
Figura 3.48 Correlation Graph de la calibración manual.....	57
Figura 3.49 Ventana Roughness de la calibración con optimización .....	57
Figura 3.50 Ventana Options de la calibración con optimización .....	58
Figura 3.51 Solutions número Fitness de la calibración con optimización.....	58
Figura 3.52 Ventana Simulador de resultados / Solution 1 de la calibración con optimización.....	59
Figura 3.53 Correlation Graph de la calibración con optimización .....	59
Figura 3.54 Ventana Patterns, administración de modelos.....	62
Figura 3.55 Ventana Demand Control Center.....	63
Figura 3.56 Ventana Calculation Options.....	64

Figura 3.57 Propiedades del estado simulación en periodo extendido .....	64
Figura 3.58 Propiedades del escenario Áreas_Aporte .....	65
Figura 3.59 Calibración final Cochas.....	66
Figura 3.60 Calibración final Paccha .....	67
Figura 3.61 Calibración final Rayoloma.....	68
Figura 3.62 Calibración final Santa Teresita - El Censo - Castilla Cruz .....	69
Figura 3.63 Curva de consumo sector Rayoloma .....	71
Figura 3.64 Curva de consumo sector Cochas .....	72
Figura 3.65 Curva de consumo sector Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo .....	73
Figura 3.66 Curva de consumo sector Paccha .....	74

### INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Densidades poblacionales Rayoloma.....	12
Tabla 2.2 Densidades poblacionales Cochas .....	12
Tabla 2.3 Densidades poblacionales Paccha.....	13
Tabla 2.4 Densidades Poblacionales Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo.....	13
Tabla 2.5 Cartas topográficas.....	14
Tabla 3.1 Simbología de los elementos hidráulicos.....	19
Tabla 3.2 Métodos para obtener la información demográfica de los sectores .....	27
Tabla 3.3 Calculo del factor de mayoración .....	34
Tabla 3.4 Presiones del muestreo del sector de Cochas.....	46
Tabla 3.5 Presiones del muestreo del sector de Paccha .....	47
Tabla 3.6 Presiones del muestreo del sector de Rayoloma .....	48
Tabla 3.7 Presiones del muestreo del sector de Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo.....	49
Tabla 3.8 Tabla de multiplicadores para 24 horas .....	61
Tabla 3.9 Tolerancia de presiones Cochas.....	66
Tabla 3.10 Tolerancia de presiones Paccha .....	67
Tabla 3.11 Tolerancia de presiones Rayoloma .....	68
Tabla 3.12 Tolerancia de presiones Santa Teresita, El Censo y Castilla Cruz .....	69
Tabla 3.13 Comparación de presiones en campo vs presiones del modelo, sector Rayoloma .....	71
Tabla 3.14 Comparación de presiones en campo vs presiones del modelo, sector Cochas.....	72
Tabla 3.15 Comparación de presiones en campo vs presiones del modelo, sector Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo .....	73
Tabla 3.16 Comparación de presiones en campo vs presiones del modelo, sector Paccha .....	74

### INDICE DE ANEXOS

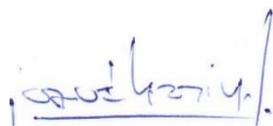
Anexo 0.1 Mapa de presiones Cochas .....	78
Anexo 0.2 Mapa de presiones Paccha.....	79
Anexo 0.3 Mapa de presiones Rayoloma.....	80
Anexo 0.4 Mapa de presiones Santa Teresita - Castilla Cruz - El Censo .....	81

**Actualización de la modelación hidráulica de los sistemas de distribución para el abastecimiento de agua potable de la parroquia de El Valle, en los sectores: Santa Teresita, Castilla Cruz, El Censo, Rayoloma, Paccha y Cochás**

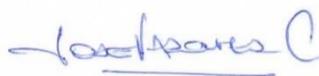
**RESUMEN**

El presente trabajo comprende la actualización y calibración en régimen permanente y en periodo extendido de las cinco principales redes de abastecimiento de agua potable de la parroquia El Valle. Se recopiló información cartográfica, demográfica, topográfica, catastral, de consumos y de dotaciones; proporcionada por la empresa ETAPA EP. Para la elaboración de los modelos hidráulicos se aplicaron diferentes softwares, para procesar los datos se utilizó AutoCAD y ArcGis; en cambio WaterGEMS se utilizó para la elaboración y calibración de los modelos hidráulicos en diferentes escenarios. La actualización del sistema es un requerimiento fundamental para operar sobre las redes de distribución administradas por la empresa ETAPA EP.

Palabras clave: agua potable, modelación hidráulica, dotación, consumos, factor de mayoración, régimen permanente, periodo extendido.



Ing. Josué Bernardo Larriva Vásquez



Ing. José Fernando Vázquez Calero

**Director de Tesis**

**Coordinador de Escuela**



María Belén Hurtado León



Carlos Santiago Tacuri Pillco

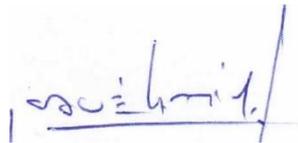
**Autores**

**Update of the hydraulic model of distribution systems for the drinking water supply of "El Valle" parish in the sectors: Santa Teresita, Castilla Cruz, El Censo, Rayoloma, Paccha and Cochas.**

**ABSTRACT**

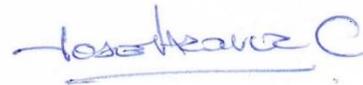
This work included an update and calibration of the five main drinking water supply networks of "El Valle" parish in both a permanent and extended period. Cartographic, demographic, topographic, cadastral, consumption and endowment information was collected. This information was provided by the company "ETAPA EP". Different software was used for the elaboration of hydraulic models. AutoCAD and ArcGis were used to process the data. WaterGEMS was used for the elaboration and calibration of hydraulic models in different scenarios. The update of this system was a fundamental requirement to operate on the distribution networks managed by ETAPA EP.

Keywords: drinking water, hydraulic modeling, endowment, consumption, factor of mayoración, permanent regime, extended period.



Ing. Josué Bernardo Larriva Vásquez

**Thesis Director**



Ing. José Fernando Vázquez Calero

**School Coordinator**



Maria Belén Hurtado León



Carlos Santiago Tacuri Pillco

**Authors**



Translated by  
Ing. Paul Arpi

María Belén Hurtado León

Carlos Santiago Tacuri Pillco

Trabajo de Titulación

Mst. Josué Bernardo Larriva Vásquez

Junio, 2018

**Actualización de la modelación hidráulica de los sistemas de distribución para el abastecimiento de agua potable de la parroquia de El valle, en los sectores: Santa Teresita, Castilla Cruz, El Censo, Rayoloma, Paccha y Cochas.**

**INTRODUCCIÓN**

Las redes de distribución de agua potable para las comunidades del sector rural han sido incrementadas con el paso de los años, debido a nuevas sectorizaciones y al crecimiento poblacional. El óptimo funcionamiento está en dependencia de la calidad de los materiales y un buen diseño sobre la ubicación de las redes, esto debe garantizar un buen servicio y comodidad a los usuarios.

Actualmente se dispone de varias herramientas computacionales que ayudan a modelar el diseño de redes de distribución. Los modelos hidráulicos sirven para la toma de decisiones ya sea en el anteproyecto o en el mantenimiento y monitoreo de todo el sistema de distribución de agua potable.

El presente trabajo de titulación servirá para la actualización y calibración en régimen estático de los modelos hidráulicos existentes de los sectores: Santa Teresita, Castilla Cruz, El Censo, Rayoloma, Paccha y Cochas. Los modelos serán proyectados para tres periodos: 2018, 2023 y 2030; en donde los datos de demandas de cada periodo variarán según el incremento anual de la población correspondiente a los sectores. Además de un análisis de consumos en periodos a largo plazo para evaluar el comportamiento de la red en 24 horas.

### **Antecedentes**

El agua potable es un líquido vital para la supervivencia y desarrollo de la humanidad. En los años cuarenta, Ecuador fue apoyado por los Estados Unidos para brindar una solución con respecto a la distribución de agua potable. Esta etapa para el país fue muy importante debido al diseño, construcción y mantenimiento de redes de distribución de agua potable en las principales ciudades del Ecuador. En el año 1999 el país obtuvo un aumento de distribución de agua potable, con un incremento del 82% en los sectores urbanos y un 39% en los rurales (Ordóñez Martínez, 2007).

En la ciudad de Cuenca la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, agua potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca ETAPA EP es la que distribuye el agua potable a la mayoría de la población cuencana. Esta empresa para garantizar un servicio óptimo en la distribución de agua potable cuenta con 33 centros de reserva ubicados en distintos sectores de la ciudad, la capacidad de reserva tiene un total de 120.000 metros cúbicos. En los sectores rurales, cada planta tiene una reserva necesaria para la población correspondiente. Las redes de distribución de agua potable cubren el 96% en la zona urbana y el 88% zona rural (ETAPA EP, 2018).

En la parroquia de El Valle en los sectores: Santa Teresita, Castilla Cruz, El Censo, Rayoloma, Paccha y Cochas, de acuerdo a la información catastral, las redes de distribución de agua potable se han extendido debido a nuevas sectorizaciones, en los últimos años. Por lo tanto, se ve la necesidad de actualizar y calibrar los modelos hidráulicos de cada sector.

### **Justificación**

En la actualidad, el sistema de agua potable de los sectores propuestos necesita una actualización y calibración de datos hidráulicos que ayuden a mejorar el funcionamiento de las redes, permitiendo realizar evaluaciones y proyecciones que garanticen una correcta decisión y planificación infraestructural. En conclusión, el sistema de agua potable se ha extendido por el crecimiento de la densidad poblacional, por lo tanto, la solución es actualizar el sistema, evaluar e investigar la capacidad hidráulica actual de las tuberías y garantizar un correcto funcionamiento para su vida útil.

### **Alcance**

La información catastral obtenida será indispensable para todo el proceso de actualización con el fin de obtener modelos hidráulicos calibrados que permitan realizar las evaluaciones necesarias para cualquier estudio o planificación, y garantizar una buena calidad de servicio a los usuarios de los sistemas de abastecimiento de agua potable de la parroquia de El Valle, en los sectores: Santa Teresita, Castilla Cruz, El Censo, Rayoloma, Paccha y Cochas.

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

Realizar la actualización y calibración de la modelación hidráulica de los sistemas de distribución para abastecimiento de agua potable en los sectores: Santa Teresita, Castilla Cruz, San Francisco y El Censo, que pertenecen a la parroquia El Valle.

#### **Objetivos Específicos**

- Recopilar los datos cartográficos, topográficos, demográficos e hidráulicos que sirvan para generar la información necesaria para la elaboración de los modelos de abastecimiento de agua potable actuales de cada sector.
- Actualizar los modelos hidráulicos base con el software WaterGEMS y representar sus simulaciones en distintos escenarios.
- Tomar muestras en campo para compararlos con los resultados obtenidos y realizar la calibración necesaria en los modelos.

## CAPITULO I

### 1 CONCEPTOS PRELIMINARES

#### 1.1 Información cartográfica

Los sectores: Santa Teresita, Castilla Cruz, San Francisco y El Censo de la parroquia El Valle se encuentran ubicados en el sureste de la ciudad de Cuenca. Esta parroquia tiene una altura promedio de 2520 m.s.n.m. y el clima es variado entre épocas frías y calientes. La siguiente figura 1.1 detallará la distribución de los sectores.

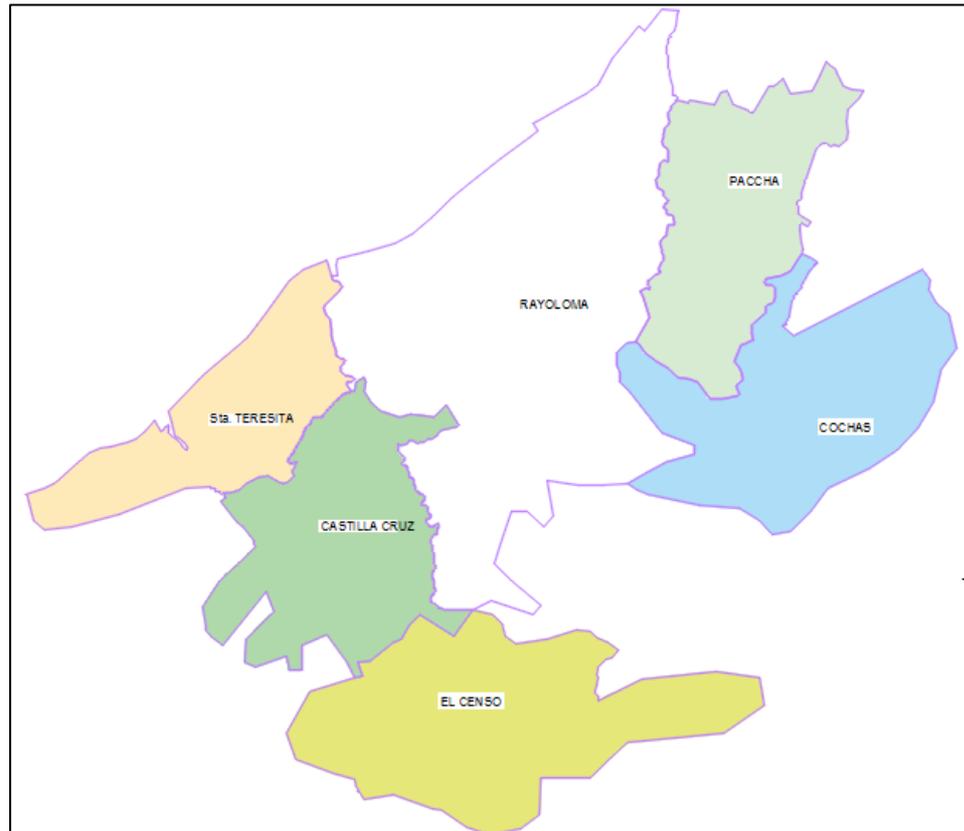


Figura 1.1 Sectores de la parroquia El Valle  
Fuente: Autor

#### 1.2 Redes de abastecimiento de agua potable

Una red de abastecimiento de agua potable es un conjunto de instalaciones que sirve para el transporte de agua desde la captación hasta los diferentes puntos donde se encuentran las domiciliarias, con el fin de satisfacer las necesidades domésticas, públicas, comerciales e industriales con lo que respecta al agua potable (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-601, 1992).

### 1.3 Hidráulica de tuberías

La hidráulica de tuberías se basa en el estudio de la capacidad para conducir agua a presión, incluso en contrapendiente. La conducción se la realiza mediante tuberías de distintos materiales que con su rugosidad favorecen al flujo en su velocidad, permitiendo llegar con facilidad a los puntos planteados.

#### 1.3.1 Flujo permanente

El flujo permanente tiene lugar cuando la velocidad del flujo es constante y las otras variables y el flujo no varían con respecto al tiempo (V. Giles, Evett, & Liu, 1994).

$$\frac{\delta V}{\delta t} = 0; \frac{\delta \rho}{\delta t} = 0; \frac{\delta P}{\delta t} = 0; \frac{\delta Q}{\delta t} = 0 \quad (1)$$

Dónde:

$\rho$  = Densidad

P = Presión

V = Velocidad media

Q = Caudal

t = Tiempo

#### 1.3.2 Ecuación de la energía

Esta ecuación es obtenida debido al principio de conservación de la energía. La energía de un fluido en movimiento está formada por energía interna y las energías debidas a la presión, a la velocidad y a su posición en el espacio (V. Giles, Evett, & Liu, 1994).

La ecuación en los flujos permanentes es:

$$\frac{\rho_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + H_A - H_L - H_E = \frac{\rho_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (2)$$

Dónde:

$\rho$  = Presión (Kg)

V = Velocidad media (m/s)

$\gamma$  = Peso específico del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

g = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

z = Elevación (m)

V = Velocidad media (m/s)

$H_A$  = Altura añadida (m)

$H_L$  = Altura perdida (m)

$H_E$  = Altura extraída (m)

### 1.3.3 Ecuación de la continuidad

La ecuación de continuidad en un flujo permanente se obtiene debido a que la masa de fluido no varía con respecto al tiempo, es decir permanece constante. La ecuación es la siguiente (V. Giles, Evett, & Liu, 1994).

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \text{constante} \quad (3)$$

### 1.3.4 Fórmula de Darcy-Weisbach

El software WaterGEMS calcula las pérdidas de carga en las tuberías mediante:

$$\text{Pérdida de carga} = f * \frac{L}{d} * \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

Donde:

f: coeficiente de fricción

L: longitud (m)

d: diámetro (m)

V: velocidad (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Para el cálculo del coeficiente de fricción se utiliza la ecuación de Swamee y Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{s}{3.71D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2} \quad (5)$$

Donde:

f = Factor de fricción

s = Medida del tamaño de las proyecciones de la rugosidad

D = Diámetro

Re = Numero de Reynolds (Flujo laminar Re <2000 y flujo turbulento Re >4000)

La variación de rugosidades en cada material de las tuberías influye en las perdidas de carga y la ecuación de Colebrook -White es la más recomendada para calcular f.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 \ln\left(\frac{s}{3.7} + \frac{2.523}{Re * \sqrt{f}}\right) \quad (6)$$

Donde:

$f$  = Factor de fricción calculado con Swamee y Jain

$s$  = Medida del tamaño de las proyecciones de la rugosidad

$D$  = Diámetro

$Re$  = Numero de Reynolds (Flujo laminar  $Re < 2000$  y flujo turbulento  $Re > 4000$ )

(V. Giles, Evett, & Liu, 1994)

### 1.3.5 Fórmula de Hazen Williams

La fórmula de Hazen-Williams también es utilizada para las pérdidas de carga y esta será la que utilizaremos por defecto, viene dada por:

$$V = 0.8492 * C * R^{0.83} * S^{0.54} \quad (7)$$

Donde:

$V$  = velocidad (m/s)

$R$  = radio hidráulico (m)

$C$  = coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams

$S$  = pendiente de carga de la línea de alturas piezométricas (pérdida de carga por unidad de longitud del conducto).

Esta fórmula es más directa que la anterior por lo que se optará usarla para el cálculo.

(V. Giles, Evett, & Liu, 1994)

### 1.3.6 Fórmula de Manning

El software WaterGEMS también utiliza esta fórmula para el cálculo hidráulico de las tuberías, ésta viene dada por:

$$V = \frac{1.0}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (8)$$

Donde:

$V$  = velocidad en m/s

$R$  = radio hidráulico en m

$n$  = coeficiente de rugosidad de Manning

$S$  = pendiente de carga de la línea de alturas piezométricas (pérdida de carga por unidad de longitud del conducto) (V. Giles, Evett, & Liu, 1994)

### 1.3.7 Flujo no permanente

El flujo no permanente se da cuando existe variación, en las características hidráulicas del flujo, con respecto al tiempo (V. Giles, Evett, & Liu, 1994).

En el caso que una red funcione a presión, los gastos serán variables en el tiempo, por ejemplo, cuando se necesite abastecer con un mayor caudal a los usuarios que lo soliciten durante el día.

Para desarrollar un modelo de flujo no permanente, en una red de distribución de agua potable será necesario realizar un modelo dinámico, teniendo presente la variación del consumo a lo largo del día.

### 1.4 Aplicación de AutoCAD Map 3D

AutoCAD Map 3D es un software de dibujo asistido por computadora en dos y tres dimensiones. Este programa es de gran ayuda en la precisión de los dibujos y sobre todo es necesario para poder interactuar con el software ArcGIS y WaterGEMS. Además, el AutoCAD Map 3D ayudará a exportar los catastros actuales de la ciudad de Cuenca. Este permite el cálculo de áreas de los diferentes sectores y ofrece el sistema de coordenadas de cada elemento de la red de distribución, en él también se puede realizar vistas en planta, en perfil y sobre todo obtener toda la información de los catastros como diámetros de la tubería, el tipo material, el nombre de las subredes de cada sector, entre otros. La figura 1.2 indica las principales secciones del programa (Autodesk, 2018).

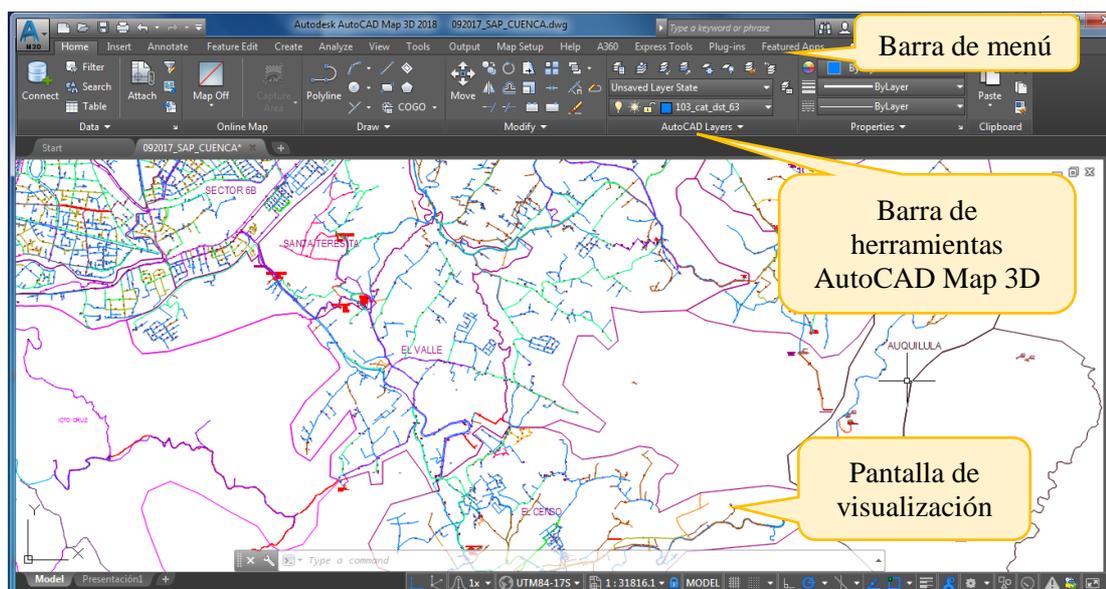


Figura 1.2 Interfaz Autocad Map 3D

Fuente: Autor

### 1.5 Aplicación de ARC MAP

El programa informático aporta con métodos de análisis y creación de superficies 3D, perfiles de visión y superficies de visualización, así como digitalización e incorporación de simbología 3D. ArcCatalog es el apartado que permite toda la gestión de datos con los que se trabajara. Una de las principales funciones es la previsualización de datos y de igual manera la generación de nuevas capas y la edición de datos conjuntamente con sus propiedades necesarias para generar las demandas de las redes de distribución. La figura 1.3 indica las principales secciones del programa (Higueruela & Sánchez, 2010).



Figura 1.3 Interfaz ArcMap

Fuente: Autor

### 1.6 Aplicación de WaterGEMS

WaterGEMS es un software que permite agilizar los procesos hidráulicos en una red de distribución de agua, permitiendo modelar con respecto a la población, demandas y a los distintos tipos de parámetros necesarios para el modelo. WaterGEMS servirá para la realización de los modelos en diferentes escenarios siendo una herramienta útil en la toma de decisiones para el óptimo funcionamiento del mismo. Además, este software será indispensable para la calibración de los modelos de cada sector. La calibración de los modelos tendrá como finalidad obtener resultados que se ajusten a la realidad. Todo esto será de gran ayuda para realizar una planificación adecuada. La figura 1.4 indica las principales secciones del programa (Bentley Systems Incorporated, 2018).

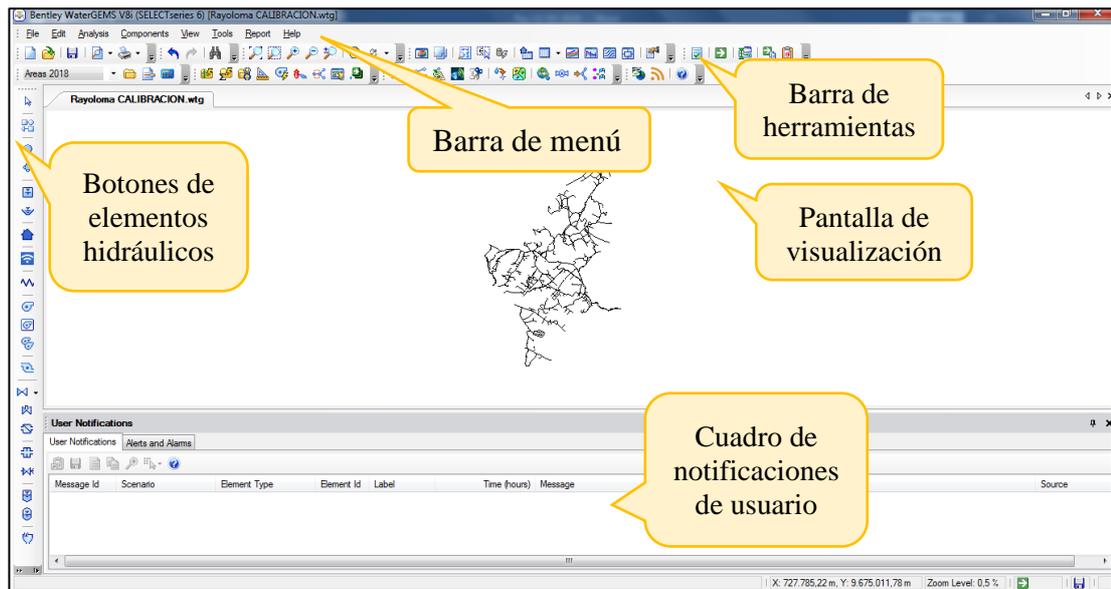


Figura 1.4 Interfaz *WaterGEMS*  
Fuente: Autor

## 1.7 Criterios para la evaluación de una red de distribución

### 1.7.1 Velocidades

Las velocidades del agua en las tuberías de la red deben estar comprendidas entre 0.4 m/s y 3 m/s, para que el sistema de distribución funcione óptimamente (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-601, 1992).

### 1.7.2 Presión

En lo referente a la presión se permite un mínimo de 10 metros de columna de agua en cada punto y en las peores condiciones de la red. En el caso de grifos públicos la presión podrá ser de 5 metros de columna de agua. La presión estática máxima será de 70 metros de columna de agua y la presión máxima dinámica será de 50 metros de columna de agua (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-601, 1992).

### 1.7.3 Caudal

Los caudales de diseño serán el máximo diario al final del período de diseño y se comprobarán las presiones de la red para el caudal máximo horario al final de dicho período (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-601, 1992).

### 1.7.4 Diámetros

Las tuberías de la red de distribución deberán tener un diámetro nominal mínimo de 19 mm o  $\frac{3}{4}$  de pulgada (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-601, 1992).

### **1.7.5 Pérdidas de carga**

Es la pérdida de energía por unidad de longitud de tubería. Las pérdidas de carga no deben ser mayores de 12 m/Km (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-601, 1992).

### **1.7.6 Rugosidad del material**

El material que se utiliza en las tuberías es de PVC, entonces las rugosidades serán de 130 influyendo en las pérdidas de carga. Además, la calibración de los modelos depende de este parámetro.

### **1.7.7 Elevaciones**

La información topográfica contiene la medida de las elevaciones de cada sector en una variedad de puntos, estos datos influyen directamente en la variación de las presiones en cada nodo.

## CAPITULO II

### 2 RECOPILOCIÓN DE INFORMACIÓN

#### 2.1 Información demográfica

El número de habitantes de los sectores de El Valle, los cuales son usuarios del servicio de agua potable, es un dato muy importante para desarrollar el cálculo de consumos de dichos modelos. Esta información ha sido facilitada por la “Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, agua potable, Alcantarillado y Saneamiento”, ETAPA EP. Las tablas 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 contienen los datos sobre la densidad poblacional de cada sector propuesto en la actualización de los modelos de El Valle para el año 2018, además, una proyección poblacional para los años 2023 y 2030 que ayudará a garantizar un correcto funcionamiento de las redes en el futuro proyectado de su vida útil (ETAPA EP, 2018).

Tabla 2.1 Densidades poblacionales Rayoloma

RAYOLOMA				
Año	2008	2018	2023	2030
Habitantes	2653	6007	6750	7855
ÁREA (m <sup>2</sup> )	10054301,58			
ÁREA (Ha)	1005,43			
<b>DENSIDAD</b>				
<b>POBLACIONAL (Hab/Ha)</b>	2,64	5,97	6,71	7,81

Fuente: Autor

Tabla 2.2 Densidades poblacionales Cochas

COCHAS				
Año	2008	2018	2023	2030
Habitantes	765	1026	1104	1239
ÁREA (m <sup>2</sup> )	4470780,461			
ÁREA (Ha)	447,080			
<b>DENSIDAD</b>				
<b>POBLACIONAL (Hab/Ha)</b>	1,71	2,29	2,47	2,77

Fuente: Autor

Tabla 2.3 Densidades poblacionales Paccha

<b>PACCHA</b>				
<b>Año</b>	2008	<b>2018</b>	<b>2023</b>	<b>2030</b>
<b>Habitantes</b>	1262	2264	2497	2899
<b>ÁREA (m2)</b>	3617069,3130			
<b>ÁREA (Ha)</b>	361,71			
<b>DENSIDAD</b>				
<b>POBLACIONAL (Hab/Ha)</b>	3,49	<b>6,26</b>	<b>6,90</b>	<b>8,01</b>

Fuente: Autor

Tabla 2.4 Densidades Poblacionales Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo

<b>SANTA TERESITA, CASTILLA CRUZ Y EL CENSO</b>			
<b>Año</b>	<b>2018</b>	<b>2023</b>	<b>2030</b>
<b>Habitantes</b>	27314	30140	34168
<b>ÁREA (m2)</b>	12120745,56		
<b>ÁREA (Ha)</b>	1212,07		
<b>DENSIDAD POBLACIONAL (Hab/Ha)</b>	<b>22,53</b>	<b>24,87</b>	<b>28,19</b>

Fuente: Autor

## 2.2 Información topográfica

Para tener mayor precisión en la actualización del modelo hidráulico de los sectores se debe contar, no solo con los datos planimétricos sino con datos altimétricos, que permiten determinar las pendientes de las tuberías y establecer la dirección del flujo para obtener la velocidad, el caudal y la presión de cada nodo en la red. Esta información ha sido proporcionada por la empresa ETAPA EP. En la tabla 2.5 se detallan escalas y nombres de las cartas topográficas pertenecientes a cada sector, las cuales deberán ser cargadas respectivamente en el modelo hidráulico realizado. Las figuras 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 representan las curvas de nivel de cada sector (ETAPA EP, 2018).

Tabla 2.5 Cartas topográficas

Sectores	Cartas	Escala
<b>Rayoloma</b>	af34_5k; af35_5k; af36_5k; ag33_5k; ag34_5k; ag35_5k; ag36_5k	1:5000
<b>Cochas</b>	ag34_5k; ag35_5k; ag36_5k; ah34_5k; ah35_5k	1:5000
<b>Paccha</b>	ag33_5k; ag34_5k; ag35_5k; ah33_5k; ah34_5k	1:5000
<b>Santa Teresita</b>	af34_5k; ae35_5k; af35_5k; ae36_5k; af36_5k; ag36_5k; af37_5k; ag37_5k	1:5000
<b>Castilla Cruz</b>		
<b>El Censo</b>		

Fuente: Autor

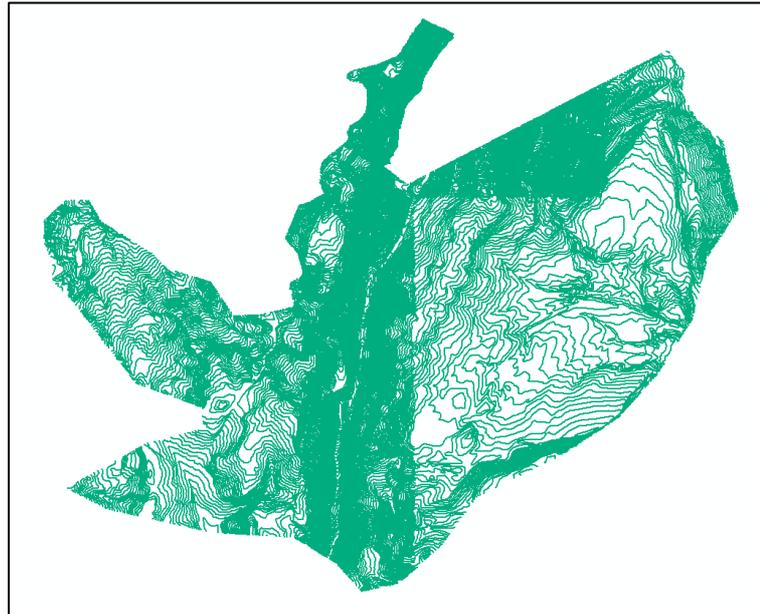


Figura 2.1 Topografía Cochas

Fuente: Autor

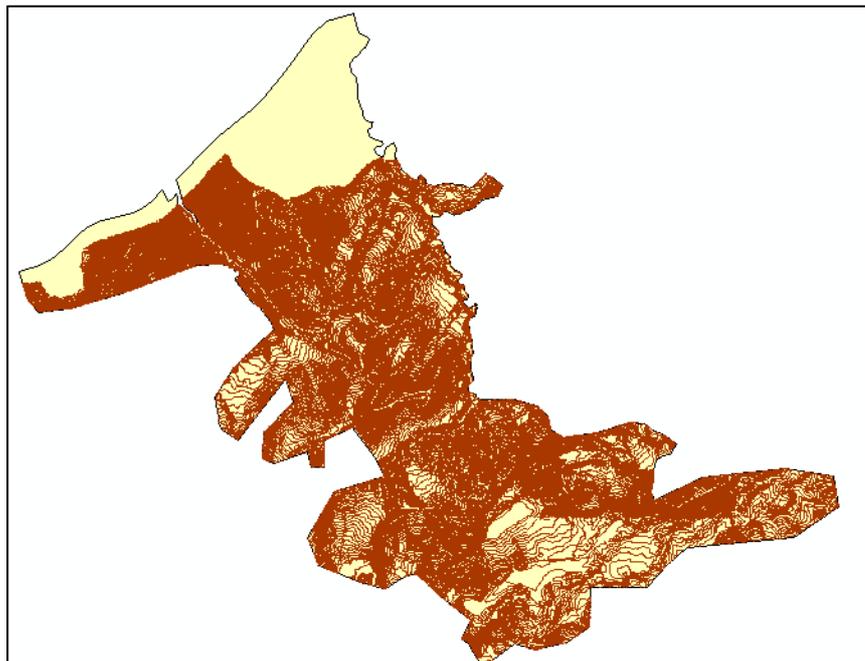


Figura 2.2 Topografía Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo

Fuente: Autor

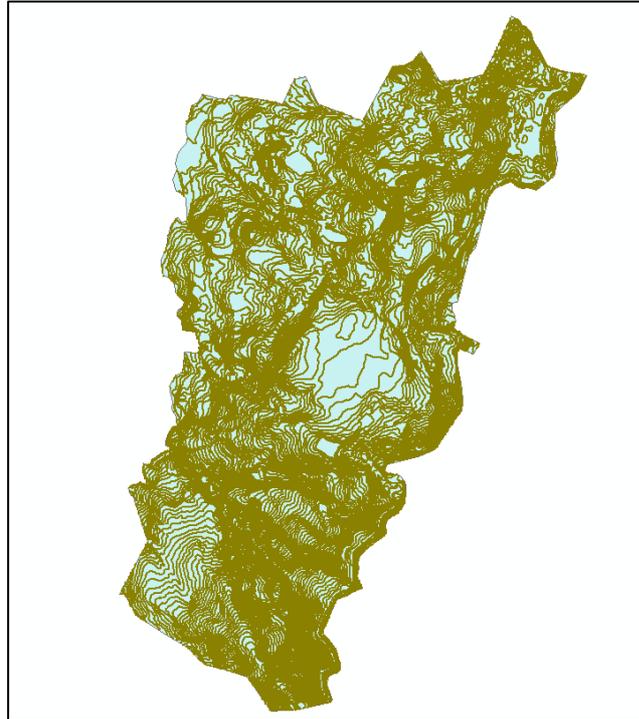


Figura 2.3 Topografía Paccha  
Fuente: Autor

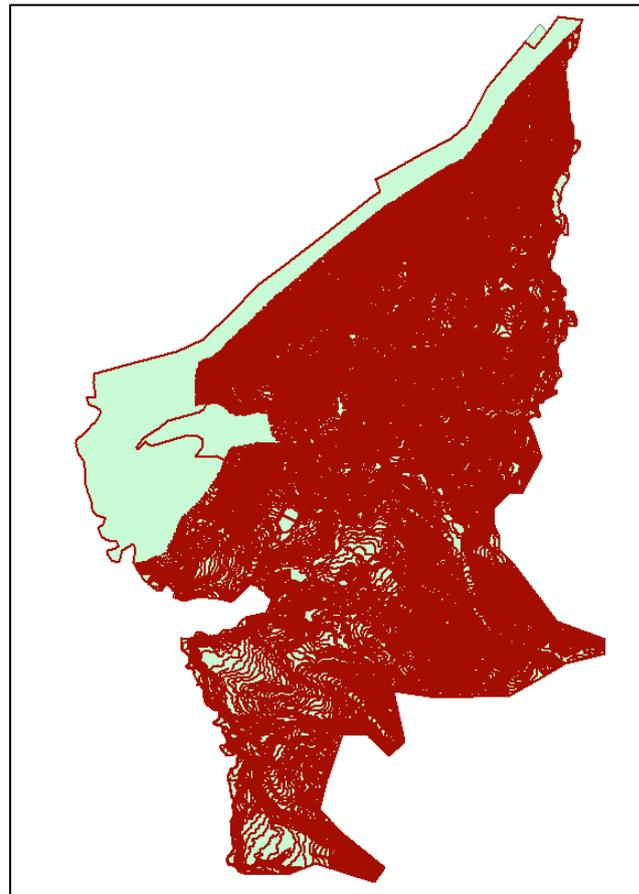


Figura 2.4 Topografía Rayoloma  
Fuente: Autor

### 2.3 Información catastral

Para la actualización del modelo hidráulico de los sectores propuestos de El Valle se obtuvo la información catastral de las redes del sistema de agua potable que servirá específicamente de guía para aumentar nuevos catastros asignados en los últimos años o eliminar los que ya no son utilizados. Estos han sido elaborados y proporcionados por el departamento de Catastros de la empresa ETAPA EP. Las figuras 2.5, 2.6 y 2.7 detallan la distribución de las tuberías, las cuales cuentan con sus respectivas propiedades como: diámetro, longitud, material, tipo de distribución; componentes y accesorios necesarios para el correcto funcionamiento de la red de abastecimiento de agua potable de cada sector (ETAPA EP, 2018).

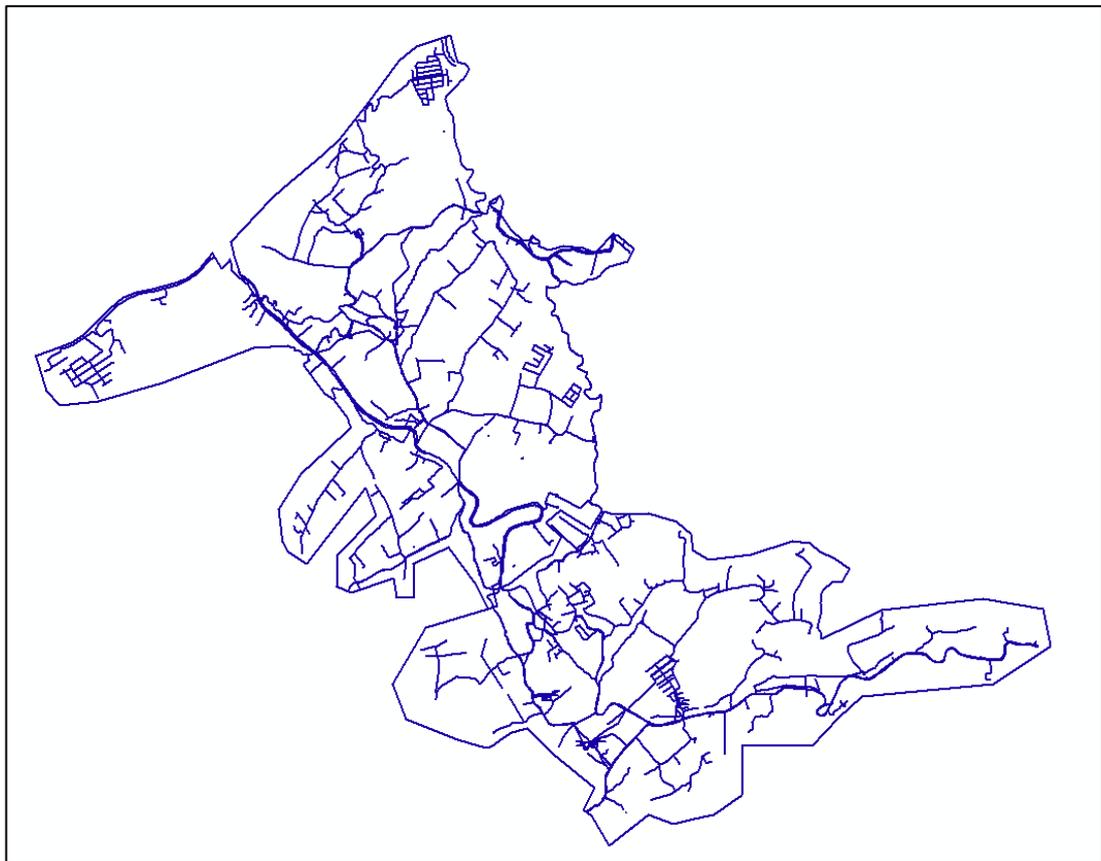


Figura 2.5 Catastro Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo  
Fuente: Autor

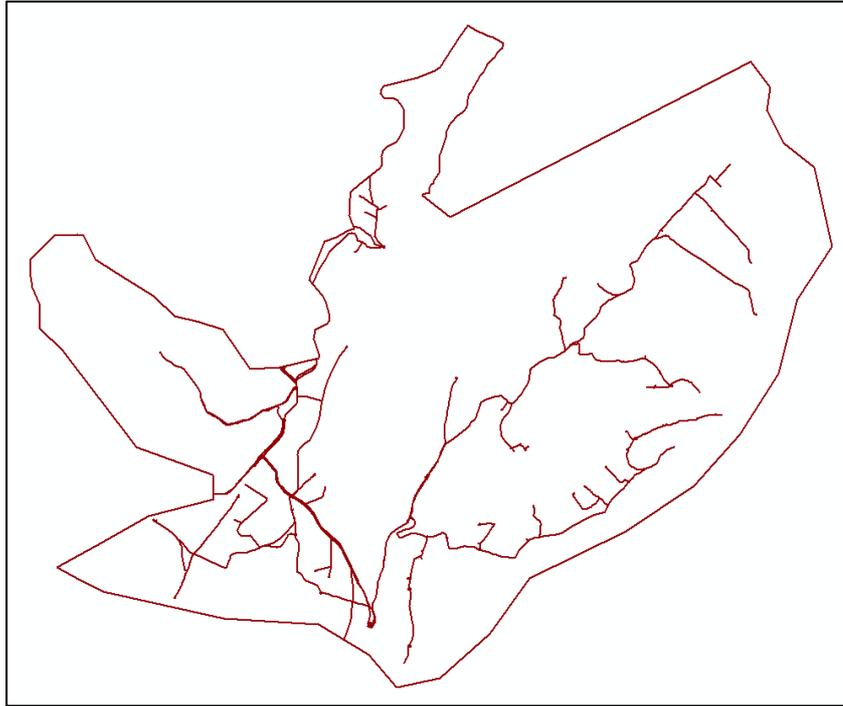


Figura 2.6 Catastro Cochabamba  
Fuente: Autor

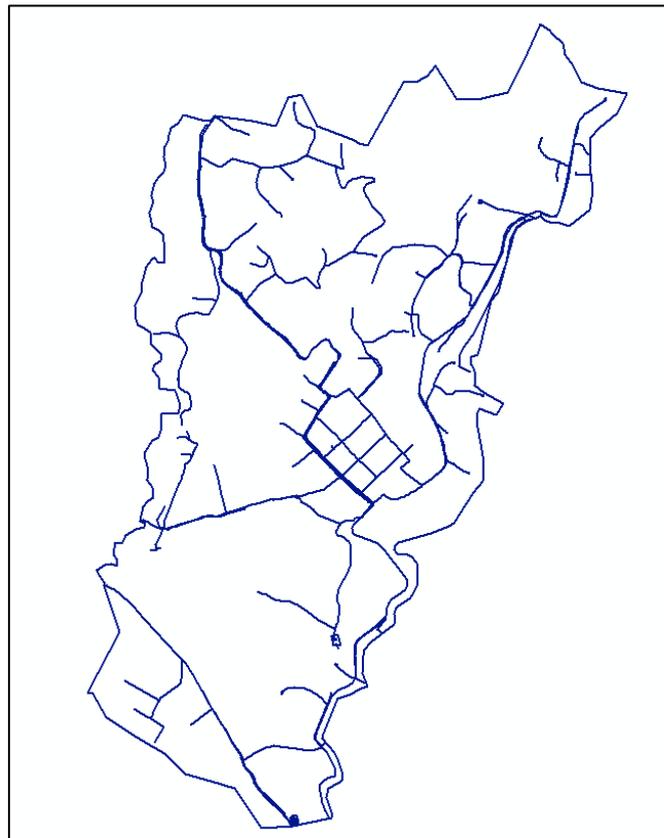


Figura 2.7 Catastro Paccha  
Fuente: Autor

## 2.4 Consumos

El consumo del servicio de agua potable se medirá en base a la cantidad consumida en un determinado tiempo, (litros/segundos). Toda la información recopilada, mencionada en los puntos anteriores, permitirá el cálculo de consumos, el cual será explicado más adelante en el presente documento.

## 2.5 Dotaciones

La dotación es el consumo promedio diario de agua por cada habitante. En los sectores propuestos la dotación será de 250 lt/hab/día. Este valor ha sido determinado en base a la norma CO 10.07-601 de Abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el área urbana. La figura 2.8 indica la dependencia de los valores de las dotaciones que varían según las condiciones particulares de la población como: Condiciones climáticas, servicios públicos, industrias, comercio, etc (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-601, 1992).

<b>POBLACIÓN (habitantes)</b>	<b>CLIMA</b>	<b>DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)</b>
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

Figura 2.8 Dotación media futura  
Fuente: Norma CO 10.07-601

## CAPITULO III

### 3 MODELACIÓN HIDRÁULICA

#### 3.1 Elementos hidráulicos en una red de distribución de agua potable

Los elementos que son utilizados en la modelación de la red de distribución de agua potable son: tanques de almacenamiento, tuberías, válvulas, estaciones reductoras de presión entre otras, como se indica en la tabla 3.1.

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

#### 3.1.1 Tanque de almacenamiento

Es un depósito cerrado que tiene la cantidad de agua suficiente para cubrir los consumos que varían de acuerdo con el tiempo y de esta manera poder satisfacer las necesidades del usuario (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-601, 1992).

##### 3.1.1.1 Tanques superficiales

Este tipo de tanques pueden ser de forma variable y de mampostería de piedra o con hormigón simple u hormigón armado. El tipo de material de construcción que se utiliza depende de la capacidad y su estabilidad. Este tipo de tanques se construyen cuando la topografía del terreno sea adecuada y cuando la capacidad sea grande. El tanque tendrá una altura mínima de 2,5 m. con un borde libre de 0,3 m (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-601, 1992).

### **3.1.1.2 Tanques elevados**

Estos tanques se posicionan sobre torres de diferente altura con el fin de cumplir con presiones adecuadas en la red de distribución, se los realiza en hormigón armado o en otro material adecuado. El tanque tendrá una capacidad máxima de 100 m<sup>3</sup> (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-601, 1992).

### **3.1.2 Red de distribución de agua**

Una red de distribución de agua es el conjunto de tubos, accesorios y estructuras que permiten la distribución de agua eficiente a los usuarios. La red debe estar en funcionamiento constante, con la cantidad, calidad y presión adecuada (Comisión Nacional del Agua, 2007).

### **3.1.3 Accesorios**

Los accesorios permiten una gran facilidad en la construcción y el funcionamiento de la red de distribución de agua potable. Estos elementos influyen en la hidráulica del agua potable, además será necesario tener en cuenta la calidad de los accesorios.

### **3.1.4 Reductores de presión**

Reduce una presión alta a una presión considerable aguas abajo. Cuando la presión excede el reductor la controla evitando las presiones altas.

### **3.1.5 Válvulas rompe presiones**

Este tipo de válvulas ayudan en el control de la presión aguas abajo, de esta manera se puede optimizar la presión de acuerdo con la norma y además proteger a la red de sufrir daños debido a presiones altas (Palacios Romero, 2015).

### **3.1.6 Válvulas de control**

Estas válvulas permiten controlar el caudal o presión de la red de distribución de agua en diferentes puntos. Además, facilita la entrada o salida de aire y de sedimentos que se encuentran en la red (Comisión Nacional del Agua, 2007).

### **3.1.7 Válvulas de operación**

Las válvulas de operación controlan la apertura o cierre permitiendo dividir a la red en distintos sectores de distribución (Palacios Romero, 2015).

### 3.1.8 Hidrantes

Son tomas ubicadas en ciertos puntos de la red mediante una conexión especial, con el fin de que el abastecimiento sea el adecuado para familias o también en el caso de un hidrante contra incendios se conecta una manguera para combatir el fuego. Por otro lado, existen los hidrantes públicos, que son básicamente tomas en un pedestal y una o varias llaves. El agua del hidrante público se distribuye a casas en contenedores. Por lo general, son utilizados en pequeñas poblaciones de bajas condiciones económicas (Comisión Nacional del Agua, 2007).

### 3.2 Actualización de los modelos hidráulicos con el software WaterGEMS

Para iniciar la actualización de los modelos es primordial verificar en la información catastral: las tuberías, accesorios, tanques, válvulas, entre otros que no consten en los modelos base en el software WaterGEMS.

#### 3.2.1 Tuberías

Para añadir tuberías faltantes en el modelo se selecciona el botón de nodo *Junction*  ubicándolo en puntos cercanos a las coordenadas de los catastros (se ubica el nodo inicial y final de la tubería). Luego se selecciona el botón tubería *Pipe*  y se unen los nodos anteriormente graficados, como la figura 3.1 lo indica.

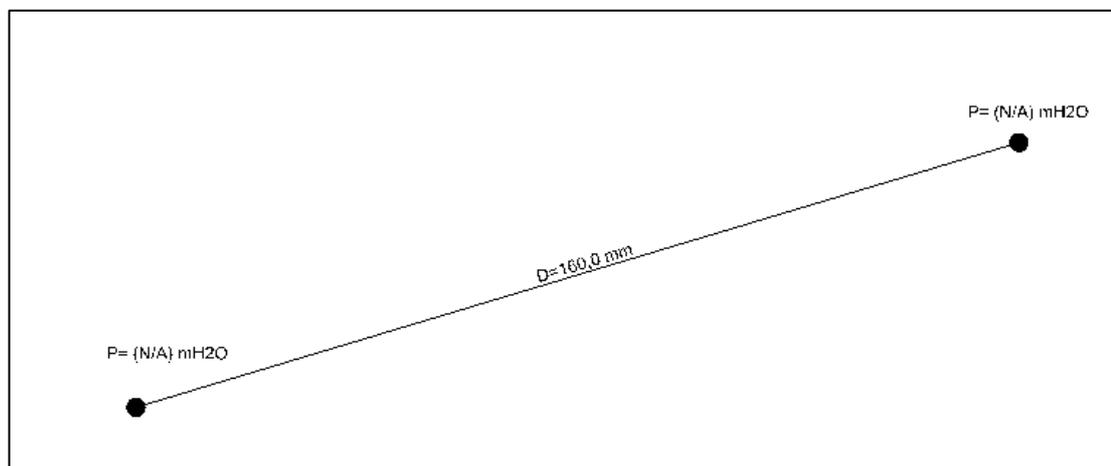


Figura 3.1 Grafica de tubería

Fuente: Autor

Una vez realizada la tubería se verifica en el catastro las coordenadas de los nodos, a continuación, se da click derecho en cada nodo seleccionando propiedades. En las celdas del campo de geometría se copia las respectivas coordenadas desde el catastro, como la figura 3.2 lo indica.

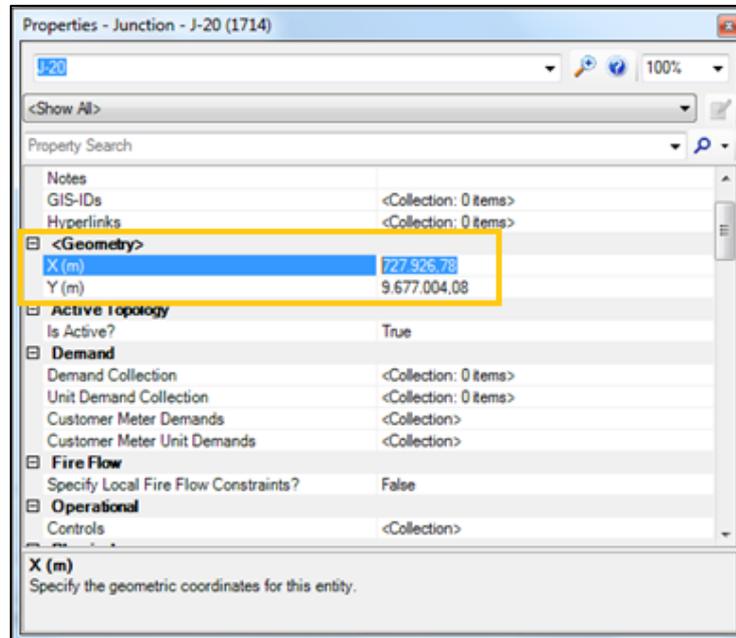


Figura 3.2 Ventana de propiedades del nodo  
Fuente: Autor

Para graficar los quiebres se hace click derecho sobre la tubería, click en opción *bend* y luego se selecciona *add bend*, de esta manera se añadirán los quiebres necesarios. Después se abrirá la ventana de propiedades de la tubería, en la cual se añadieron los quiebres y en el campo de geometría se da click en (...), para llenar las coordenadas de los quiebres graficados, como lo indica la figura 3.3.

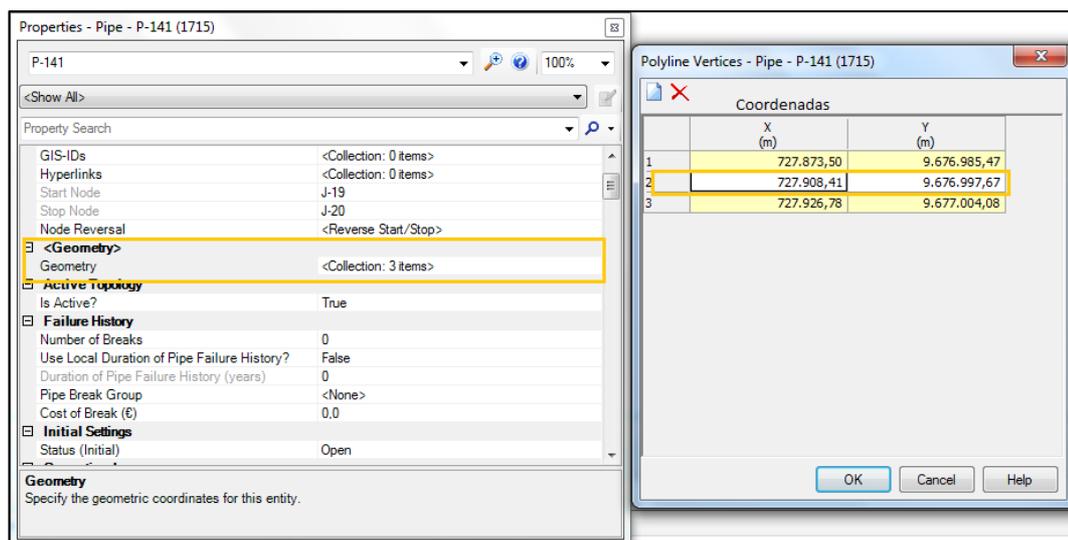


Figura 3.3 Ventana de propiedades de Tubería  
Fuente: Autor

Finalmente, en la ventana de propiedades de la tubería se coloca el diámetro, el material y la rugosidad de la tubería especificado en el catastro. Entonces, se obtendrá la actualización de ese elemento, como lo indica la figura 3.4. Para exportar una tubería con varios quiebres de Autocad Map hasta WaterGEMS, las coordenadas de cada quiebre de la tubería tiene que ser exportados a Excel desde Autocad Map y luego ser ingresados dichas coordenadas en WaterGEMS.

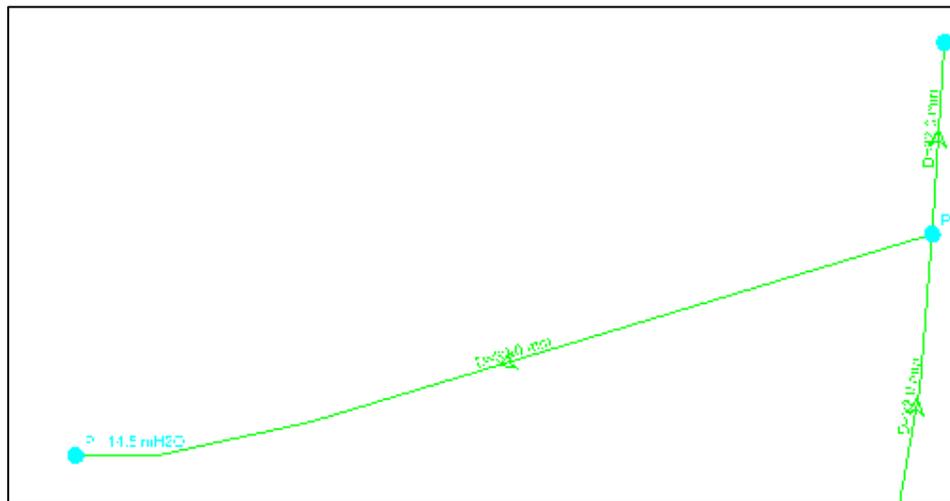


Figura 3.4 Grafico de tuberías  
Fuente: Autor

### 3.2.2 Tanque de almacenamiento

Para graficar un tanque de almacenamiento se pulsa el botón *tank*  ubicando las coordenadas del catastro y las alturas mínimas y máximas de agua en la ventana de propiedades del tanque.

### 3.2.3 Válvula de aire

Para graficar una válvula de aire se selecciona el botón *Air Valve*  y se colocan las coordenadas del catastro en la ventana de propiedades de la válvula.

### 3.2.4 Válvula de purga

Para añadir una válvula de purga se pulsa el botón *Discharge to atmosphere*,  y de misma manera se agregan las coordenadas correspondientes en la ventana de propiedades de la válvula.

### 3.2.5 Válvula de control

Para graficar la válvula de control se selecciona el botón *Isolation Valve* , luego se añade el diámetro y las coordenadas correspondientes en la ventana de propiedades de la válvula.

### 3.2.6 Estación reductora de presión

Para graficar la estación reductora de presión se da click en el botón *PRV*  y se llenan los datos del diámetro, la presión inicial de salida y las coordenadas correspondientes en la ventana de propiedades de la estación.

### 3.2.7 Hidrante

Para añadir un hidrante se selecciona el botón *Hydrant*  y se colocan las coordenadas correspondientes en la ventana de propiedades del hidrante.

Nota: Verificar la conectividad de todos los elementos anteriormente mencionados y validar en el software para corregir cualquier error. Esto garantizará el correcto funcionamiento del modelo.

## 3.3 Información del WaterGEMS al ArcGis

Una vez actualizados los modelos hidráulicos en el software WaterGEMS se procede a exportar los nodos de la red de cada sector a un archivo shape (.shp). Se dirige al botón *View, Flex tables*, como lo indica la figura 3.5, y se escoge la opción *Junction Table*, como lo indica la figura 3.6; luego aparecerán en lista todos los nodos con su código ID, como lo indica la figura 3.7, luego estos datos se exportarán dando click en el botón *Export to File* y  se guarda el archivo. Finalmente, los nodos se podrán abrir en el programa GIS y trabajar en el cálculo de las demandas para los años 2018, 2023 y 2030 (Bentley Systems Incorporated, 2018).

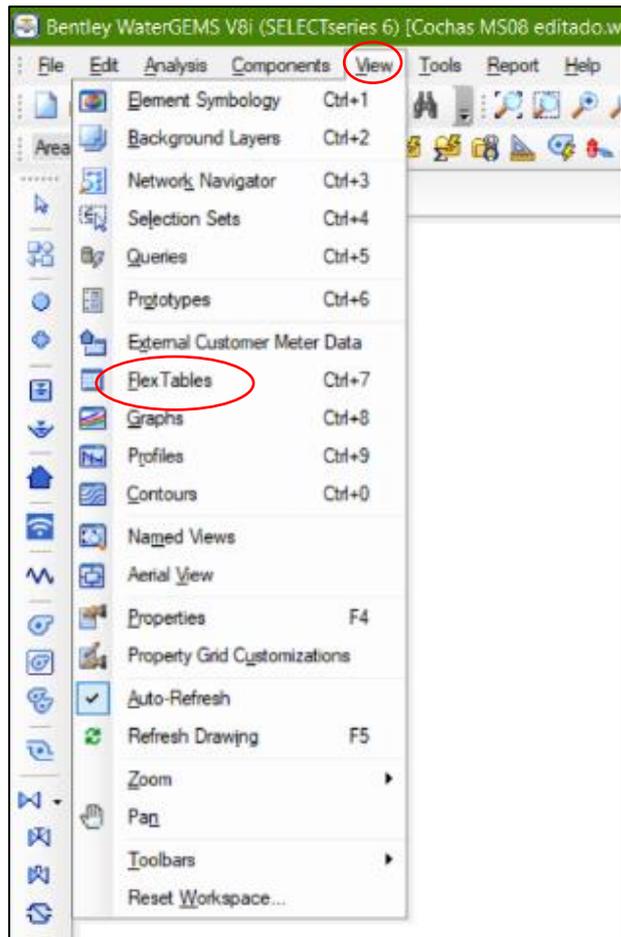


Figura 3.5 Barra de herramientas *View*  
Fuente: Autor

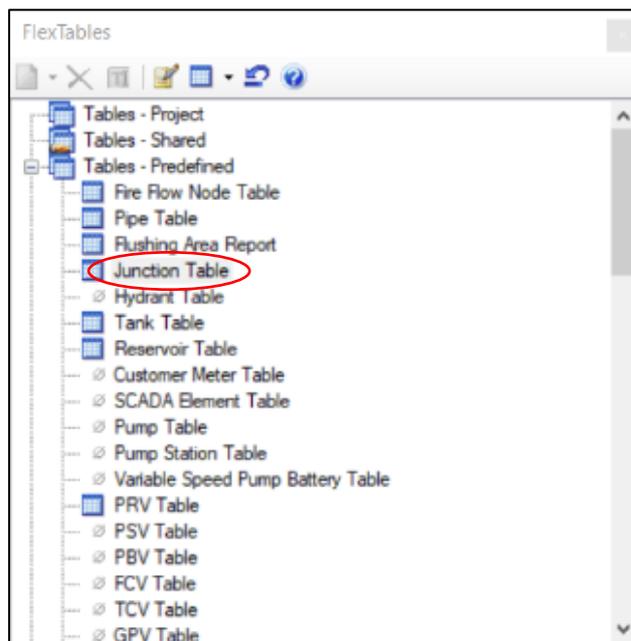


Figura 3.6 Ventana *Flex Tables*  
Fuente: Autor

ID	Label	Elevation (m)	Zone	Demand Collection	Demand (L/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)
179	VALLE_N_1001	2.621,19	<None>	<Collection: 0,0260416675	0,0260416675	2.658,59	37,3
180	VALLE_N_1002	2.621,21	<None>	<Collection: 0,0564236078	0,0564236078	2.658,59	37,3
182	VALLE_N_1003	2.506,40	<None>	<Collection: 0,0000000000	0,0000000000	2.567,93	61,4
183	VALLE_N_1004	2.506,40	<None>	<Collection: 0,1753472296	0,1753472296	2.567,94	61,4
185	VALLE_N_1005	2.576,97	<None>	<Collection: 0,0911458286	0,0911458286	2.633,42	56,3
186	VALLE_N_1006	2.577,09	<None>	<Collection: 0,1536458350	0,1536458350	2.633,42	56,2
188	VALLE_N_1007	2.669,27	<None>	<Collection: 0,2656250142	0,2656250142	2.856,90	187,3
189	VALLE_N_1008	2.669,31	<None>	<Collection: 0,0000000000	0,0000000000	2.856,90	187,2
191	VALLE_N_1009	2.654,96	<None>	<Collection: 0,0980902788	0,0980902788	2.773,07	117,9
192	VALLE_N_1010	2.654,93	<None>	<Collection: 0,0763888917	0,0763888917	2.773,07	117,9
194	VALLE_N_1011	2.650,30	<None>	<Collection: 0,2135416642	0,2135416642	2.773,14	122,6
195	VALLE_N_1012	2.650,29	<None>	<Collection: 0,2213541584	0,2213541584	2.773,14	122,6
197	VALLE_N_1013	2.653,44	<None>	<Collection: 0,1440972226	0,1440972226	2.773,08	119,4
198	VALLE_N_1014	2.653,37	<None>	<Collection: 0,0017361111	0,0017361111	2.773,08	119,5
200	VALLE_N_1015	2.577,36	<None>	<Collection: 0,2439236046	0,2439236046	2.633,36	55,9
201	VALLE_N_1016	2.577,44	<None>	<Collection: 0,0286458335	0,0286458335	2.633,36	55,8
203	VALLE_N_1017	2.650,03	<None>	<Collection: 0,0000000000	0,0000000000	2.773,62	123,3
204	VALLE_N_1018	2.649,95	<None>	<Collection: 0,0000000000	0,0000000000	2.773,62	123,4
207	VALLE_N_1019	2.685,59	<None>	<Collection: 0,0312500013	0,0312500013	2.860,75	174,8
209	VALLE_N_1020	2.646,58	<None>	<Collection: 0,1041666699	0,1041666699	2.659,72	13,1
210	VALLE_N_1021	2.646,39	<None>	<Collection: 0,0243055568	0,0243055568	2.659,72	13,3
212	VALLE_N_1022	2.647,92	<None>	<Collection: 0,1588541745	0,1588541745	2.773,37	125,2
213	VALLE_N_1023	2.647,99	<None>	<Collection: 0,0460069439	0,0460069439	2.773,37	125,1
215	VALLE_N_1024	2.518,31	<None>	<Collection: 0,0373263868	0,0373263868	2.616,74	98,2
217	VALLE_N_1025	2.610,29	<None>	<Collection: 0,0217013889	0,0217013889	2.636,72	26,4
218	VALLE_N_1026	2.610,28	<None>	<Collection: 0,0000000000	0,0000000000	2.636,60	26,3
220	VALLE_N_1027	2.488,64	<None>	<Collection: 0,0486111136	0,0486111136	2.744,03	254,9
221	VALLE_N_1028	2.488,75	<None>	<Collection: 0,1032986108	0,1032986108	2.744,09	254,8
223	VALLE_N_1029	2.489,74	<None>	<Collection: 0,1883680483	0,1883680483	2.566,77	76,9
224	VALLE_N_1030	2.489,27	<None>	<Collection: 0,0807291646	0,0807291646	2.566,77	77,3
226	VALLE_N_1031	2.644,00	<None>	<Collection: 0,1736111114	0,1736111114	2.773,60	129,3
227	VALLE_N_1032	2.644,00	<None>	<Collection: 0,0173611123	0,0173611123	2.773,60	129,3
229	VALLE_N_1033	2.559,51	<None>	<Collection: 1,1432291987	1,1432291987	2.667,55	107,8
230	VALLE_N_1034	2.559,62	<None>	<Collection: 0,0217013889	0,0217013889	2.667,36	107,5
232	VALLE_N_1035	2.621,09	<None>	<Collection: 0,0217013889	0,0217013889	2.658,60	37,4
234	VALLE_N_1036	2.581,57	<None>	<Collection: 0,2578125049	0,2578125049	2.752,87	171,0
235	VALLE_N_1037	2.581,67	<None>	<Collection: 0,0000000000	0,0000000000	2.752,87	170,9
238	VALLE_N_1039	2.676,12	<None>	<Collection: 0,0477430545	0,0477430545	2.689,97	13,8
240	VALLE_N_1040	2.571,96	<None>	<Collection: 0,3350694407	0,3350694407	2.633,56	61,5

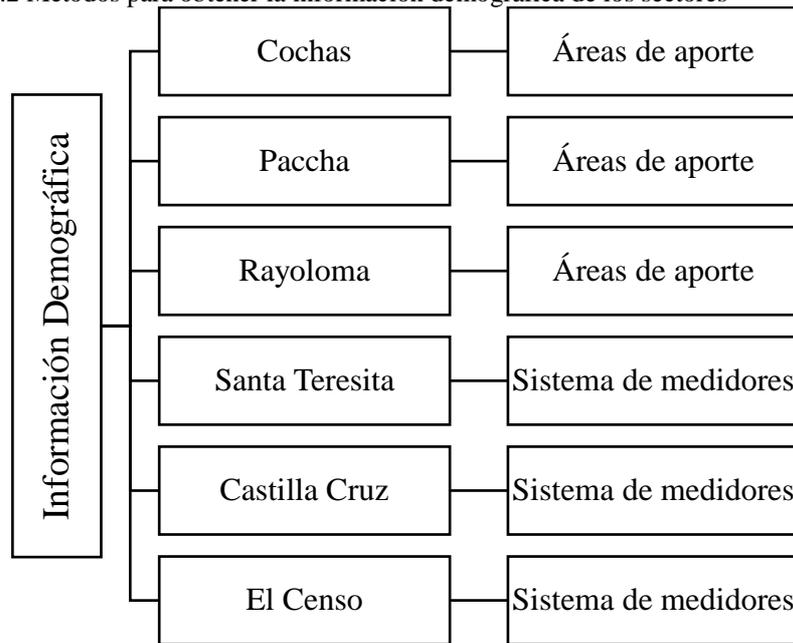
Figura 3.7 Ventana Flex Tables: Junction Table

Fuente: Autor

### 3.4 Asignación de propiedades utilizando GIS

Para el procedimiento del cálculo de caudales, se debe contar con la información demográfica de cada sector. Para obtener estos caudales se aplicarán dos métodos, debido a que algunos sectores disponen de sistema de *medidores*, los cuales permiten hacer lectura de los usuarios de la red; por otro lado, para los sectores que no disponen del sistema, su información demográfica será calculada por el método de las *áreas de aporte*. La figura 3.2 indica el método para cada sector.

Tabla 3.2 Métodos para obtener la información demográfica de los sectores



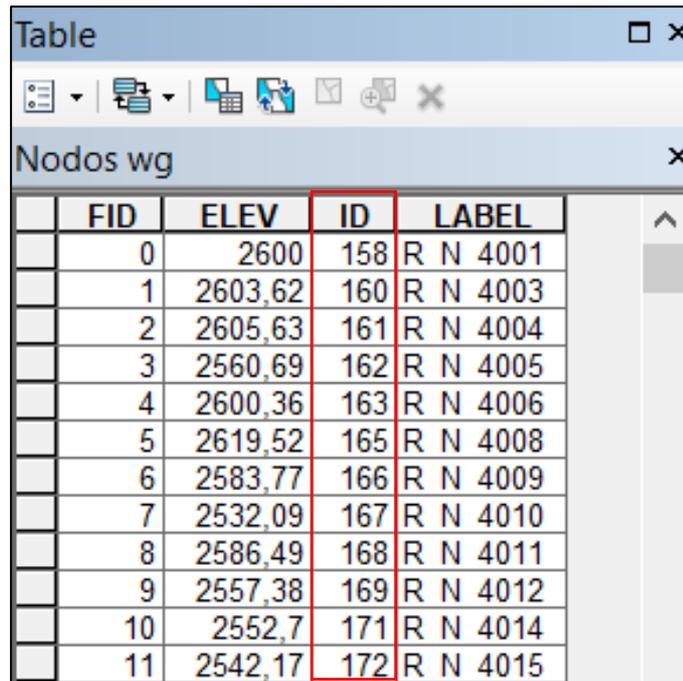
Fuente: Autor

### 3.4.1 Cálculo de áreas de aporte

Las áreas de aporte para los nodos de los sectores que utilizan este método son creadas a partir del concepto de los Polígonos de Thiessen. En donde se creará un área mediante la triangulación de los nodos en una red irregular de triángulos generando mediatrices perpendiculares para cada borde del triángulo en donde está presente la zona de consumo para cada nodo y con este dato poder calcular las demandas.

Para crear los polígonos de cada sector se realiza el siguiente procedimiento, en el siguiente ejemplo se utilizará el sector de Rayoloma:

1. Se abre el archivo de nodos exportado desde WaterGEMS con el botón *Add Data*.  Luego se da click derecho en el nombre del archivo en la sección de la tabla de contenidos y se selecciona la opción *Open Attribute Table*, en ella debe constar la exportación de cada nodo con su respectivo código ID como lo indica la figura 3.8.



	FID	ELEV	ID	LABEL
	0	2600	158	R N 4001
	1	2603,62	160	R N 4003
	2	2605,63	161	R N 4004
	3	2560,69	162	R N 4005
	4	2600,36	163	R N 4006
	5	2619,52	165	R N 4008
	6	2583,77	166	R N 4009
	7	2532,09	167	R N 4010
	8	2586,49	168	R N 4011
	9	2557,38	169	R N 4012
	10	2552,7	171	R N 4014
	11	2542,17	172	R N 4015

Figura 3.8 Tabla de atributos del archivo de nodos exportado desde *WaterGEMS*  
Fuente: Autor

2. Se determina el tipo de coordenadas del archivo shape. Para esto con la herramienta *Arctoolbox* se escoge la opción *Project*, en este caso serán de tipo *Universal Transverse Mercator (UTM)*.

NOTA: La determinación del tipo de coordenadas debe ser garantizada para todos los archivos shape que se realicen, por lo que es el sistema de coordenadas que está establecido en la información catastral, información topográfica y en la modelación base de los sectores en el software *WaterGEMS*.

3. Una vez determinado el tipo de coordenadas se procede a usar la herramienta *Create Thiessen Polygons*, en el campo *Input Features*, se carga el archivo de nodos que fue exportado desde *WaterGEMS* con sus respectivos códigos ID, en *Output Feature Class* se escoge la ubicación en donde será guardado el archivo y para finalizar, click en Ok. La figura 3.9 indica el resultado final de los polígonos de thiessen creados. (Desktop, 2018).

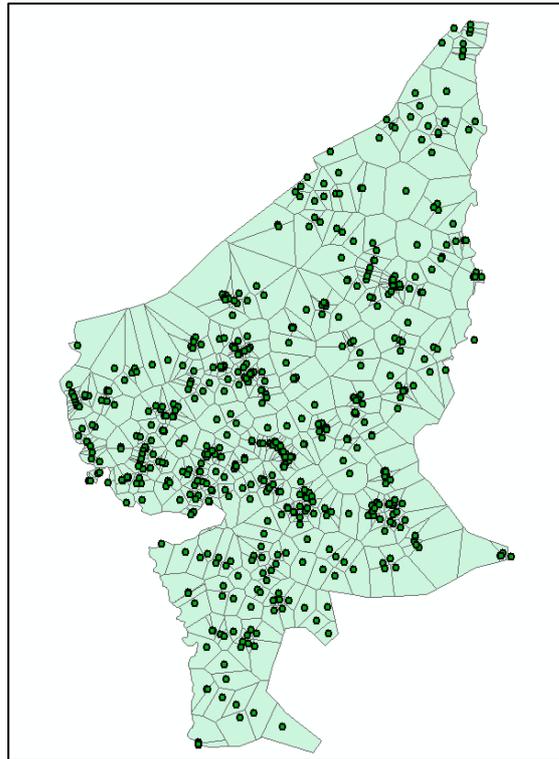


Figura 3.9 Polígonos de thiessen de Rayoloma  
Fuente: Autor

4. Una vez creadas las áreas para cada nodo se abre la tabla de atributos del archivo de polígonos de Thiessen, click en *Table options* se selecciona  *Add Field* para añadir un campo nuevo, el cual se denominara como Área m<sup>2</sup>, en el campo *Type* se selecciona la opción *Double* para una precisión de 20 y a escala 2, como lo indica la figura 3.10.

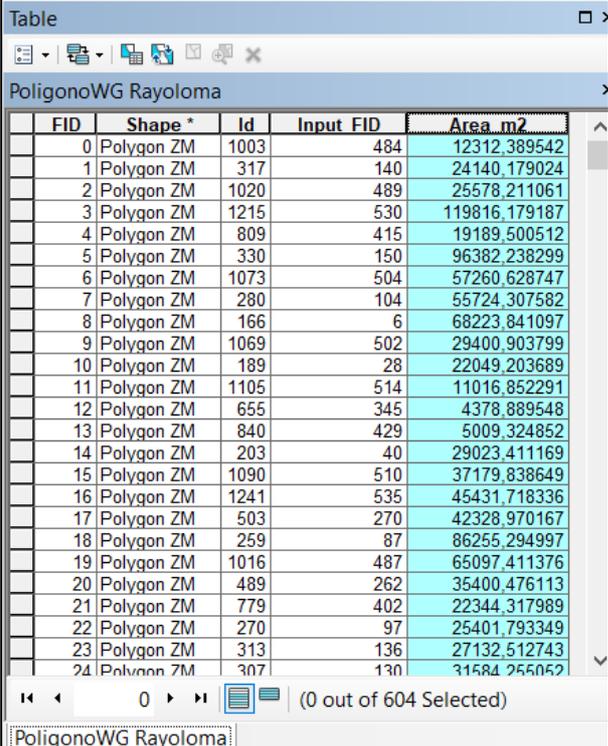
 Una ventana de diálogo titulada "Add Field" con un botón de cerrar (X) en la esquina superior derecha. El campo "Name:" contiene el texto "Area m2". El campo "Type:" es un menú desplegable que muestra "Double". Debajo, se encuentra una sección "Field Properties" con una tabla de configuración:
 

Field Properties	
Precision	20
Scale	2

 En la parte inferior de la ventana hay dos botones: "OK" y "Cancel".

Figura 3.10 Ventana *Add field*  
Fuente Autor

Para calcular automáticamente el área de cada polígono, se selecciona el nuevo campo, Área m2, click derecho y se escoge la opción *Calculate Geometry*, en donde, en el campo *Property* se escoge Área y el sistema de coordenadas automáticamente debe estar en WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S, para finalizar el procedimiento se da click en Ok y se debe calcular el área para cada uno de los polígonos como lo indica la figura 3.11.



FID	Shape *	Id	Input FID	Area_m2
0	Polygon ZM	1003	484	12312.389542
1	Polygon ZM	317	140	24140.179024
2	Polygon ZM	1020	489	25578.211061
3	Polygon ZM	1215	530	119816.179187
4	Polygon ZM	809	415	19189.500512
5	Polygon ZM	330	150	96382.238299
6	Polygon ZM	1073	504	57260.628747
7	Polygon ZM	280	104	55724.307582
8	Polygon ZM	166	6	68223.841097
9	Polygon ZM	1069	502	29400.903799
10	Polygon ZM	189	28	22049.203689
11	Polygon ZM	1105	514	11016.852291
12	Polygon ZM	655	345	4378.889548
13	Polygon ZM	840	429	5009.324852
14	Polygon ZM	203	40	29023.411169
15	Polygon ZM	1090	510	37179.838649
16	Polygon ZM	1241	535	45431.718336
17	Polygon ZM	503	270	42328.970167
18	Polygon ZM	259	87	86255.294997
19	Polygon ZM	1016	487	65097.411376
20	Polygon ZM	489	262	35400.476113
21	Polygon ZM	779	402	22344.317989
22	Polygon ZM	270	97	25401.793349
23	Polygon ZM	313	136	27132.512743
24	Polygon ZM	307	130	31584.255052

Figura 3.11 Resultados de áreas automáticamente calculadas

Fuente: Autor

Una vez hecho este procedimiento para los sectores de Cochas, Rayoloma y Paccha se podrá obtener la información de la población de cada uno de ellos al multiplicar las áreas calculadas de cada polígono por la densidad poblacional respectiva del sector.

### 3.4.2 Lectura de usuarios con sistema de medidores

El servicio del sistema de medidores, brindado por la empresa ETAPA EP, facilita y garantiza una exactitud en cuanto a la lectura del número de usuarios de la red de agua potable de cualquier sector que disponga de este servicio.

Para los sectores de Santa Teresita, El Censo y Castilla Cruz, la empresa ETAPA EP, ha facilitado un archivo shape, como lo indica la figura 3.12, con información de los medidores ubicados en esta sectorización en la cual, en su tabla de atributos se cuenta con información sobre el consumo mensual de cada medidor y su respectiva ubicación.



Figura 3.12 Pantalla de visualización de medidores en Santa Teresita Castilla Cruz y El Censo  
Fuente: Autor

Además, otro archivo shape que contiene la base poblacional de Cuenca servirá para el cálculo del factor de mayoración de los consumos, el cual se define más adelante. La base poblacional contiene información sobre la ubicación parroquial, áreas y densidades poblacionales del 2018, 2023 y 2030; todo esto servirá para calcular la población proyectada que se necesita como dato en la fórmula del factor de mayoración.

### 3.4.3 Cálculo de caudales

Una vez obtenido los datos de las poblaciones tanto en áreas de aporte para cada nodo, como en el sistema de medidores, en todos los sectores respectivamente, se aplica la fórmula del caudal máximo horario (QMH) (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-602, 1992).

$$Q_m = \left( \frac{f * Población * Dotación}{86400} \right) \quad (9)$$

$$QMH = Q_m * KMH \quad (10)$$

Donde:

$f$  = factor de fugas

Población = Número de habitantes

$$Dotación = 250 \frac{lt}{hab * día}$$

$Q_m$  = Caudal medio

$KMH$  = coeficiente de variación del caudal máximo horario

$QMH$  = caudal máximo horario

La figura 3.13 indica los distintos niveles de servicio con su respectiva descripción para poder determinar el factor de fugas correspondiente en la figura 3.14.

NIVELES DE SERVICIO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS		
NIVEL	SISTEMA	DESCRIPCIÓN
0	AP	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económica del usuario.
	EE	
Ia	AP	Grifos públicos
	EE	Letrinas sin arrastre de agua
Ib	AP	Grifos públicos mas unidades de agua para lavado de ropa y baño
	EE	Letrinas sin arrastre de agua
IIa	AP	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa
	EE	Letrinas con o sin arrastre de agua
IIb	AP	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa
	ERL	Sistema de alcantarillado sanitario
Simbología utilizada: AP: Agua Potable EE: Eliminación de excretas ERL: Eliminación de residuos líquidos		

Figura 3.13 Niveles de Servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos

Fuente: Norma CO 10.7-602

El factor de fugas será de 1.2 este dato se ha escogido en base a la norma CO 10.7-602 de Sistemas de Abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-602, 1992).

PORCENTAJES DE FUGAS A CONSIDERARSE EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	
NIVEL DE SERVICIO	PORCENTAJE DE FUGAS
Ia y Ib	10%
IIa IIb	20%

Figura 3.14 Porcentaje de fugas en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable  
Fuente: Norma CO 10.7-602

Se establecerá una dotación de 250 lt/hab\*día y un coeficiente de variación KMH de 2 en base a la norma CO 10.07-601 (Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-601, 1992).

Para el caso de los sectores en los que se utilizó el método de áreas de aporte, el cálculo del caudal máximo horario se realizara en la misma tabla de atributos de los polígonos de Thiessen creados para cada sector respectivamente. De la misma manera que se ha venido explicando con anterioridad: creando un nuevo campo para las demandas y utilizando la herramienta *Fiel Calculator* para insertar la fórmula del QMH. El ejemplo expuesto en la figura 3.15, de las demandas calculadas, para los tres periodos 2018, 2023 y 2030 es el de Rayoloma.

poligonosWG Rayoloma								
	FID	Shape	Id	Input FID	Area m2	QMH 2018	QMH 2023	QMH 2030
	0	Polygon ZM	1003	521	12312,389542	0,051045	0,057372	0,066778
	1	Polygon ZM	614	32	27138,250805	0,112511	0,126457	0,147187
	2	Polygon ZM	298	232	38928,942423	0,161393	0,181398	0,211135
	3	Polygon ZM	299	269	79403,12972	0,329192	0,369997	0,430652
	4	Polygon ZM	1519	523	101413,406513	0,420443	0,472558	0,550027
	5	Polygon ZM	275	444	8590,089563	0,035613	0,040027	0,046589
	6	Polygon ZM	1096	20	55807,684615	0,231369	0,260048	0,302679
	7	Polygon ZM	376	409	30877,862869	0,128014	0,143882	0,16747
	8	Polygon ZM	378	465	49861,312852	0,206717	0,23234	0,270428
	9	Polygon ZM	523	374	12327,157638	0,051106	0,057441	0,066858
	10	Polygon ZM	171	132	9700,122469	0,040215	0,0452	0,05261
	11	Polygon ZM	1546	557	16609,993012	0,068862	0,077398	0,090086
	12	Polygon ZM	1067	339	25376,148454	0,105205	0,118246	0,13763
	13	Polygon ZM	395	364	40178,076224	0,166572	0,187219	0,21791
	14	Polygon ZM	165	69	72771,396398	0,301698	0,339094	0,394684
	15	Polygon ZM	1486	317	1839,651816	0,007627	0,008572	0,009978
	16	Polygon ZM	1111	305	48636,536771	0,201639	0,226633	0,263786
	17	Polygon ZM	503	303	42328,970168	0,175489	0,197241	0,229576
	18	Polygon ZM	1016	210	65097,411376	0,269883	0,303336	0,353063
	19	Polygon ZM	259	136	86255,294721	0,3576	0,401926	0,467815
	20	Polygon ZM	818	183	56252,07579	0,233212	0,262119	0,305089
	21	Polygon ZM	1241	335	45613,835167	0,189107	0,212548	0,247392
	22	Polygon ZM	313	176	27132,512743	0,112487	0,12643	0,147156
	23	Polygon ZM	1090	48	37179,838648	0,154141	0,173248	0,201649
	24	Polygon ZM	323	60	52399,392705	0,217239	0,244167	0,284194
	25	Polygon ZM	924	213	13888,342347	0,057579	0,064716	0,075325
	26	Polygon ZM	307	405	31584,255053	0,130943	0,147174	0,171301
	27	Polygon ZM	283	272	28103,899063	0,116514	0,130956	0,152425
	28	Polygon ZM	655	207	4378,889493	0,018154	0,020404	0,023749

Figura 3.15 Resultados de demandas calculadas para el sector de Rayoloma  
Fuente: Autor

Para el caso de los sectores en los que se utilizó el método de la lectura del sistema de medidores se hace el mismo procedimiento que para el descrito anteriormente: se utiliza la fórmula del caudal máximo horario en la herramienta *Field Calculator* de la tabla de atributos del archivo shape de medidores, pero a ese resultado se le multiplica por un factor de mayoración que indica el incremento de la población.

Para el cálculo del factor de mayoración se realiza los siguientes pasos:

1. Se determina el número de medidores para los tres sectores, que es de 4821 y como numero promedio de personas que ocupa un medidor, se establecerá un 3.8 habitantes por medidor (ETAPA EP, 2018). Con estos datos se podrá obtener una Población calculada.

$$Pob_{calculada} = \#Medidores * Pob_{promedio} \quad (9)$$

Donde:

$$Pob_{calculada} = Población\ calculada$$

$$\#Medidores = \text{Número de medidores del sector}$$

$$Pob_{promedio} = \text{Población promedio por cada medidor (3.8)}$$

2. Se determina el factor de mayoración para los tres periodos del 2018, 2023 y 2030, mediante la división de la población proyectada, para la población calculada, los resultados son expuestos en la tabla 3.3.

$$FM = Pob_{pry}/Pob_{calculada} \quad (10)$$

En donde la Población proyectada es facilitada por la empresa ETAPA EP.

Tabla 3.3 Cálculo del factor de mayoración

Cálculo del factor de mayoración	
Numero de medidores	4821
Población promedio	3,8
<b>Población calculada</b>	<b>18320</b>
Población proyectada 2018	27314
Población proyectada 2023	30140
Población proyectada 2030	34168
Factor de mayoración 2018	<b>1,5</b>
Factor de mayoración 2023	<b>1,6</b>
Factor de mayoración 2030	<b>1,9</b>

Fuente: Autor

Por lo tanto, debido a que los factores de mayoración en los tres periodos dan como resultado un número en el intervalo entre 1 y 2, según la figura 3.16, el siguiente paso es mayorar el caudal máximo horario con el factor de mayoración (ETAPA EP, 2018).

FM<1	Consumo de medidores
1<FM<2	Consumo mayorado de medidores
FM>2	Redistribucion

Figura 3.16 Condiciones del factor de mayoración  
Fuente: Autor

- Para finalizar el cálculo total de las demandas, al QMH se le multiplicará por el factor de mayoración correspondiente al periodo al que pertenece y se obtendrá el caudal ideal denominado QMH mayorado para cada uno de los periodos, como lo indica la figura 3.17.

Medidores ST CC ECvchddddd												
INLPROME	Consumo Is	QMH 2018	FM	QMH MAYO	Cons 2023	QMH 2023	FM 2023	QMAYO 2023	Cons 2030	QMH 2030	FM 2030	QMAYO 2030
12	0.00463	0.011111	1.5	0.016667	0.005093	0.012222	1.6	0.019555	0.005787	0.013889	1.9	0.026389
34	0.013117	0.031481	1.5	0.047222	0.014429	0.034629	1.6	0.055407	0.016396	0.039352	1.9	0.074768
2	0.000772	0.001852	1.5	0.002778	0.000849	0.002037	1.6	0.003259	0.000964	0.002315	1.9	0.004398
25	0.009645	0.023148	1.5	0.034722	0.010609	0.025463	1.6	0.04074	0.012056	0.028935	1.9	0.054976
4	0.001543	0.003704	1.5	0.005556	0.001698	0.004074	1.6	0.006518	0.001929	0.00463	1.9	0.008796
9	0.003472	0.008333	1.5	0.0125	0.003819	0.009167	1.6	0.014667	0.00434	0.010417	1.9	0.019792
9	0.003472	0.008333	1.5	0.0125	0.003819	0.009167	1.6	0.014667	0.00434	0.010417	1.9	0.019792
1	0.000386	0.000926	1.5	0.001389	0.000424	0.001019	1.6	0.00163	0.000482	0.001157	1.9	0.002199
4	0.001543	0.003704	1.5	0.005556	0.001698	0.004074	1.6	0.006518	0.001929	0.00463	1.9	0.008796
18	0.006944	0.016667	1.5	0.025	0.007639	0.018333	1.6	0.029333	0.00868	0.020833	1.9	0.039583
24	0.009259	0.022222	1.5	0.033333	0.010185	0.024444	1.6	0.039111	0.011574	0.027778	1.9	0.052777
3	0.001157	0.002778	1.5	0.004167	0.001273	0.003056	1.6	0.004889	0.001447	0.003472	1.9	0.006597
19	0.00733	0.017592	1.5	0.026389	0.008063	0.019352	1.6	0.030963	0.009163	0.021991	1.9	0.041782
8	0.003086	0.007407	1.5	0.011111	0.003395	0.008148	1.6	0.013037	0.003858	0.009259	1.9	0.017592
1	0.000386	0.000926	1.5	0.001389	0.000424	0.001019	1.6	0.00163	0.000482	0.001157	1.9	0.002199
12	0.00463	0.011111	1.5	0.016667	0.005093	0.012222	1.6	0.019555	0.005787	0.013889	1.9	0.026389
29	0.011188	0.026852	1.5	0.040277	0.012307	0.029537	1.6	0.047259	0.013985	0.033565	1.9	0.063773
13	0.005015	0.012037	1.5	0.018055	0.005517	0.013241	1.6	0.021185	0.006269	0.015046	1.9	0.028588
3	0.001157	0.002778	1.5	0.004167	0.001273	0.003056	1.6	0.004889	0.001447	0.003472	1.9	0.006597
4	0.001543	0.003704	1.5	0.005556	0.001698	0.004074	1.6	0.006518	0.001929	0.00463	1.9	0.008796
2	0.000772	0.001852	1.5	0.002778	0.000849	0.002037	1.6	0.003259	0.000964	0.002315	1.9	0.004398
17	0.006559	0.015741	1.5	0.023611	0.007214	0.017315	1.6	0.027703	0.008198	0.019676	1.9	0.037384
5	0.001929	0.00463	1.5	0.006944	0.002122	0.005093	1.6	0.008148	0.002411	0.005787	1.9	0.010995
16	0.006173	0.014815	1.5	0.022222	0.00679	0.016296	1.6	0.026074	0.007716	0.018518	1.9	0.035185
0	0	0	1.5	0	0	0	1.6	0	0	0	1.9	0
1	0.000386	0.000926	1.5	0.001389	0.000424	0.001019	1.6	0.00163	0.000482	0.001157	1.9	0.002199
6	0.002315	0.005556	1.5	0.008333	0.002546	0.006111	1.6	0.009778	0.002893	0.006944	1.9	0.013194
2	0.000772	0.001852	1.5	0.002778	0.000849	0.002037	1.6	0.003259	0.000964	0.002315	1.9	0.004398
7	0.002701	0.006481	1.5	0.009722	0.002971	0.00713	1.6	0.011407	0.003376	0.008102	1.9	0.015393
7	0.002701	0.006481	1.5	0.009722	0.002971	0.00713	1.6	0.011407	0.003376	0.008102	1.9	0.015393
14	0.005401	0.012963	1.5	0.019444	0.005941	0.014259	1.6	0.022815	0.006751	0.016204	1.9	0.030787
27	0.010417	0.025	1.5	0.0375	0.011458	0.0275	1.6	0.044	0.013021	0.03125	1.9	0.059375
39	0.015046	0.036111	1.5	0.054166	0.016551	0.039722	1.6	0.063555	0.018808	0.045139	1.9	0.085763
11	0.004244	0.010185	1.5	0.015278	0.004668	0.011204	1.6	0.017926	0.005305	0.012731	1.9	0.02419
22	0.008488	0.02037	1.5	0.030555	0.009336	0.022407	1.6	0.035852	0.010609	0.025463	1.9	0.048379
3	0.001157	0.002778	1.5	0.004167	0.001273	0.003056	1.6	0.004889	0.001447	0.003472	1.9	0.006597
13	0.005015	0.012037	1.5	0.018055	0.005517	0.013241	1.6	0.021185	0.006269	0.015046	1.9	0.028588
5	0.001929	0.00463	1.5	0.006944	0.002122	0.005093	1.6	0.008148	0.002411	0.005787	1.9	0.010995
4	0.001543	0.003704	1.5	0.005556	0.001698	0.004074	1.6	0.006518	0.001929	0.00463	1.9	0.008796
9	0.003472	0.008333	1.5	0.0125	0.003819	0.009167	1.6	0.014667	0.00434	0.010417	1.9	0.019792
6	0.002315	0.005556	1.5	0.008333	0.002546	0.006111	1.6	0.009778	0.002893	0.006944	1.9	0.013194
9	0.003472	0.008333	1.5	0.0125	0.003819	0.009167	1.6	0.014667	0.00434	0.010417	1.9	0.019792
6	0.002315	0.005556	1.5	0.008333	0.002546	0.006111	1.6	0.009778	0.002893	0.006944	1.9	0.013194
8	0.003086	0.007407	1.5	0.011111	0.003395	0.008148	1.6	0.013037	0.003858	0.009259	1.9	0.017592
11	0.004244	0.010185	1.5	0.015278	0.004668	0.011204	1.6	0.017926	0.005305	0.012731	1.9	0.02419
21	0.008102	0.019444	1.5	0.029166	0.008912	0.021389	1.6	0.034222	0.010127	0.024305	1.9	0.04618

Figura 3.17 Tabla de atributos con demandas calculadas de medidores  
Fuente: Autor

### 3.5 Elaboración del modelo hidráulico en el software

#### 3.5.1 Parámetros y unidades hidráulicas

Una vez ubicados en el software WaterGEMS con el modelo hidráulico actualizado de cada sector, antes de comenzar a cargar los datos de caudales y elevaciones, se debe configurar el sistema de unidades del programa. Para definir los parámetros y unidades se da click en *Tools* y se selecciona *options* en donde aparecerán todos los parámetros con diferentes opciones para sus unidades, se debe asegurar que los parámetros más importantes como, flujo (L/s), presión (mca), velocidad (m/s) y pérdidas unitarias (m/km) estén en el sistema internacional como lo indica la figura 3.18 (Desktop, 2018).

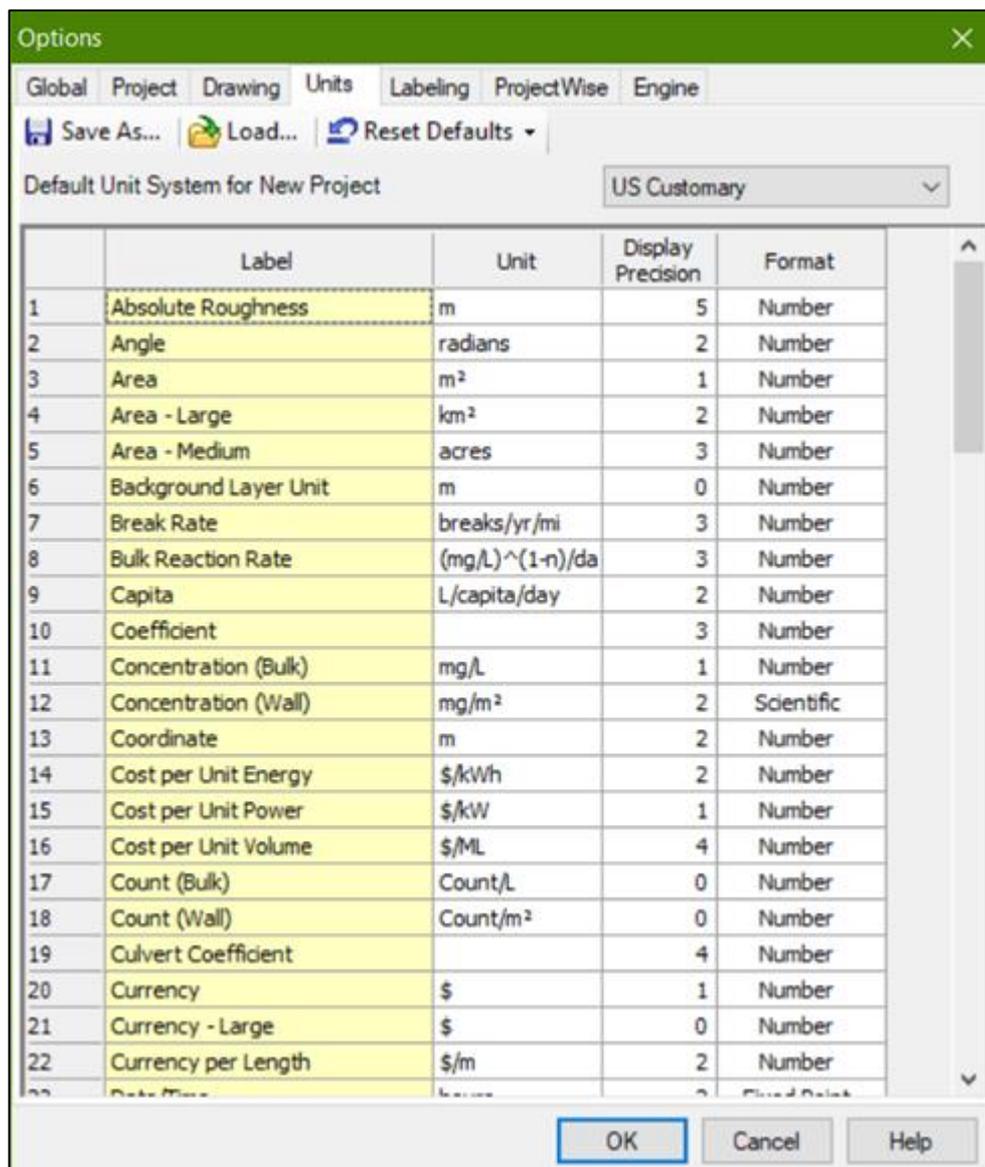


Figura 3.18 Ventana de unidades de *WaterGEMS*

Fuente: Autor

### 3.5.2 Información de GIS a WaterGEMS

#### 3.5.2.1 Asignación automática de las elevaciones y las demandas de los nodos

Con la información facilitada por la empresa ETAPA EP sobre las cartas topográficas de los sectores propuestos se puede transformar en archivos de extensión *dxf*, en el programa Autocad Map 3D, para cargarlos en la red de modelación hidráulico de cada sector respectivamente, siguiendo los siguientes pasos:

1. Click en la herramienta TRex Wizard  en donde se llenarán los siguientes campos:

*Data Source Type: DXF Contours*

*File:* Se insertará el archivo dxf de las cartas topogaficas del sector

*Spatial Reference: Unknown*

*Select Elevation Field: Elevation*

*X-Y Units: m*

*Z Units: m*

Los demás campos se dejan como estaban, como se ve en la figura 3.19.

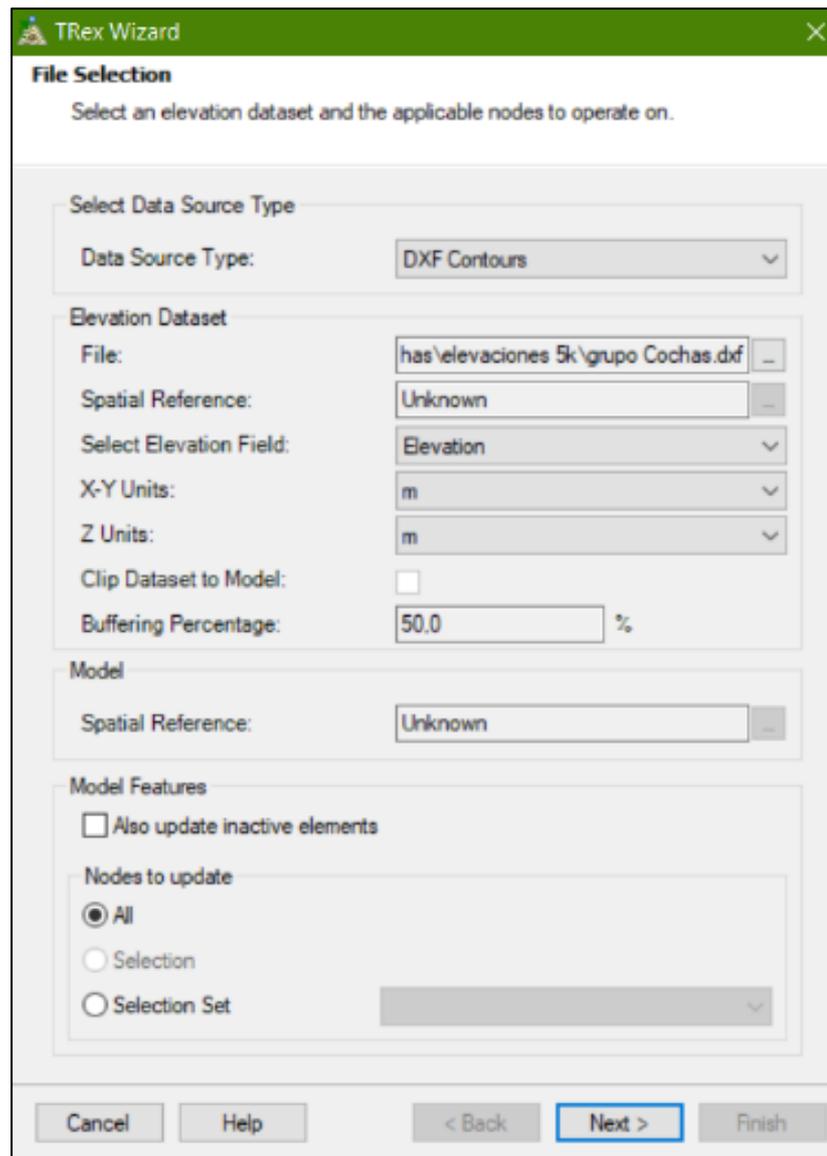


Figura 3.19 *TRex Wizard* para cargar elevaciones  
Fuente: Autor

2. Finalmente aparecerá una ventana que mostrará cada nodo con su elevación, se da click en *Finish*, como lo indica la figura 3.20, para terminar el proceso de cargar las elevaciones (Bentley Systems Incorporated, 2018).

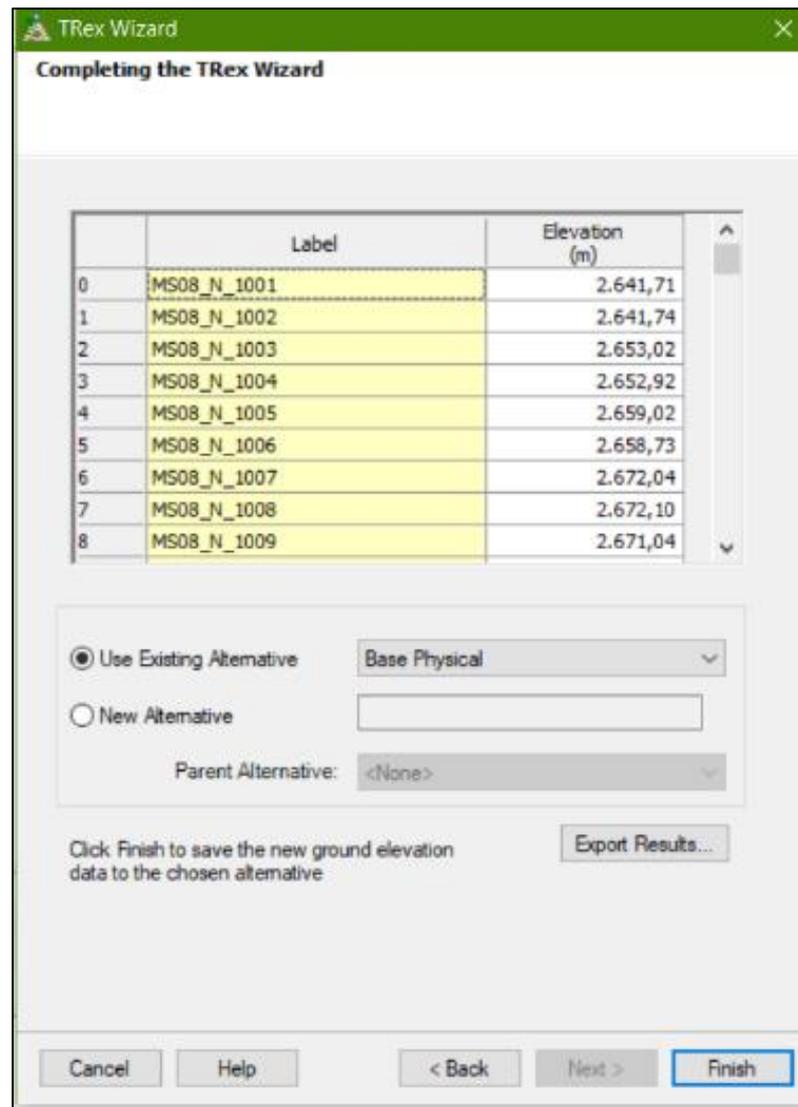


Figura 3.20 Elevaciones cargadas en *Trex Wizard*  
Fuente: Autor

Para cargar las demandas en el software WaterGEMS, se tendrá en cuenta el método de obtención de la información demográfica que se ha utilizado en el periodo anterior del modelo base. En los sectores de Rayoloma, Paccha y Cochabamba el cálculo de la población se ha realizado por el método de áreas de aporte y en Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo las poblaciones son calculadas con la lectura del sistema de medidores que ofrece la empresa Etapa EP.

Para cargar las demandas calculadas por el método de áreas de aporte se sigue el siguiente procedimiento (Bentley Systems Incorporated, 2018).

1. Se selecciona la herramienta *LoadBuilder*,  se da click en *New*, luego se escoge *Área load data*, opción *Proportional Distribution By Area* y click en *Next*, como lo indica la figura 3.21.

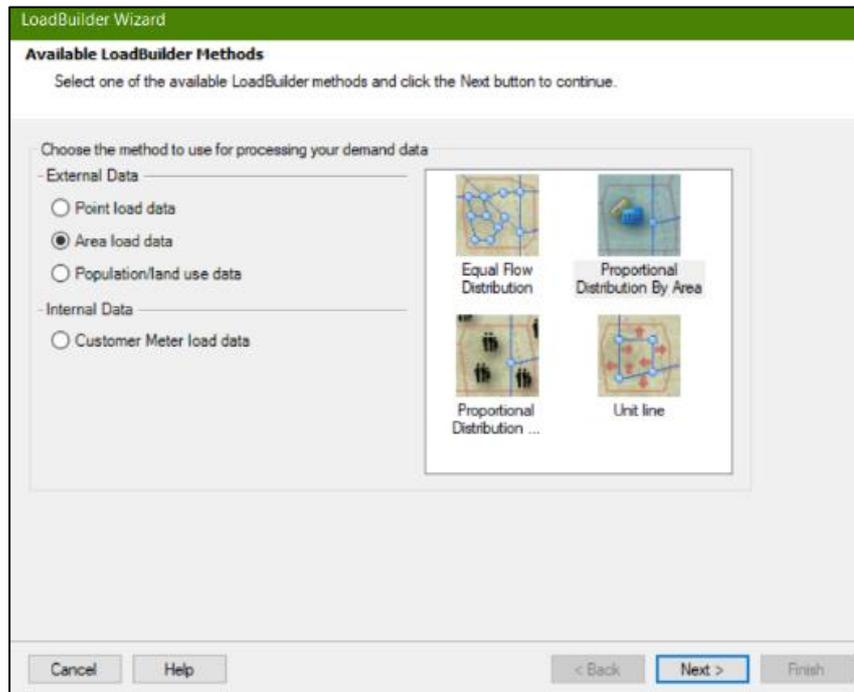


Figura 3.21 *LoadBuilder Wizard* demandas para áreas de aporte  
Fuente: Autor

2. Luego aparecerá una ventana en la cual, en el campo *Service Area Layer*, se cargará el archivo shape de áreas de aporte y nodos con su respectiva demanda y código ID, luego en *Node ID Field* se selecciona *ID*. En el siguiente campo de *Flow Boundary Layer* se vuelve a cargar el mismo archivo shape, antes mencionado, luego en *Boundary Field* nuevamente se selecciona *ID*, después en *Flow Field* se escoge el QMH y su unidad en L/s y por último click en *Next*, como lo indica la figura 3.22.

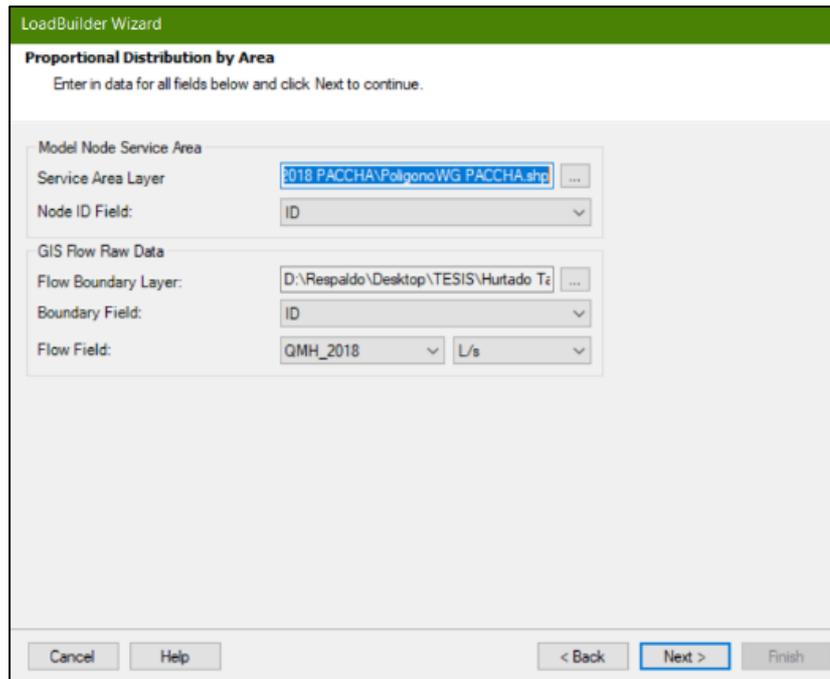


Figura 3.22 Ventana de campos para cargar archivo de demandas para áreas de aporte  
Fuente: Autor

- Después de haber dado click en *Next*, en el anterior paso, se mostrará una ventana en la cual se detallará cada nodo con su respectiva demanda como lo indica la figura 3.23.

Node Id	Demand (L/s)	Load Type	Pattern
165: P_N_4071	0,0117210318	Default	Fixed
336: 1130	0,0589349922	Default	Fixed
116: P_N_4022	0,0098767279	Default	Fixed
211: 1084	0,0132528624	Default	Fixed
126: P_N_4032	0,1010836630	Default	Fixed
167: P_N_4073	0,0110867142	Default	Fixed
118: P_N_4024	0,0120326310	Default	Fixed
155: P_N_4061	0,0204774413	Default	Fixed
286: 1098	0,0084820053	Default	Fixed
142: P_N_4048	0,0131693278	Default	Fixed
184: 1115	0,0349102391	Default	Fixed
147: P_N_4053	0,0096500005	Default	Fixed
333: 2036	0,0343848975	Default	Fixed
474: J-8	0,0499885188	Default	Fixed
204: 2119	0,0635806762	Default	Fixed
501: J-18	0,0323695317	Default	Fixed
498: J-16	0,0497678923	Default	Fixed
309: 1120	0,0217006362	Default	Fixed
770: 1048	0,0137499174	Default	Fixed

Figura 3.23 Demandas cargadas por el método de áreas de aporte  
Fuente: Autor

4. Para finalizar, en *Label* se determina el nombre del periodo como Demanda C\_2018, luego se selecciona *New Alternative* y se escribirá el mismo nombre del *Label*, luego click en *Finish*, como lo indica la figura 3.24, y el procedimiento se ha concluido.

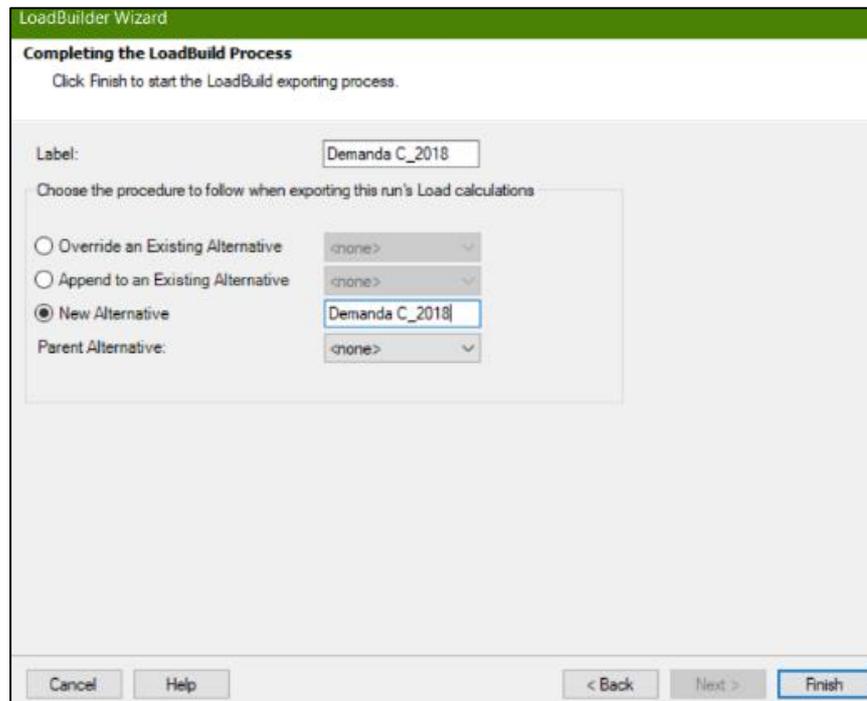


Figura 3.24 Determinación de *Label* para demandas por el método de áreas de aporte  
Fuente: Autor

Este procedimiento se realiza tres veces para cada sector, debido a que se cargarán las demandas para tres distintos periodos: 2018, 2023 y 2030.

Al abrir la herramienta *LoadBuilder* se podrá observar las demandas, para diferentes periodos que se han cargado, como lo indica la figura 3.25.

Label	LoadBuilder Method
Demanda C_2018	Proportional Distribution by Area
Demanda C_2023	Proportional Distribution by Area
Demanda C_2030	Proportional Distribution by Area

Figura 3.25 Historial de demandas cargadas en el modelo  
Fuente: Autor

En el botón *Scenarios*  se selecciona *Áreas\_Aporte* y en *Demand* se podrá escoger el periodo que se necesite, como lo indica la figura 3.26.

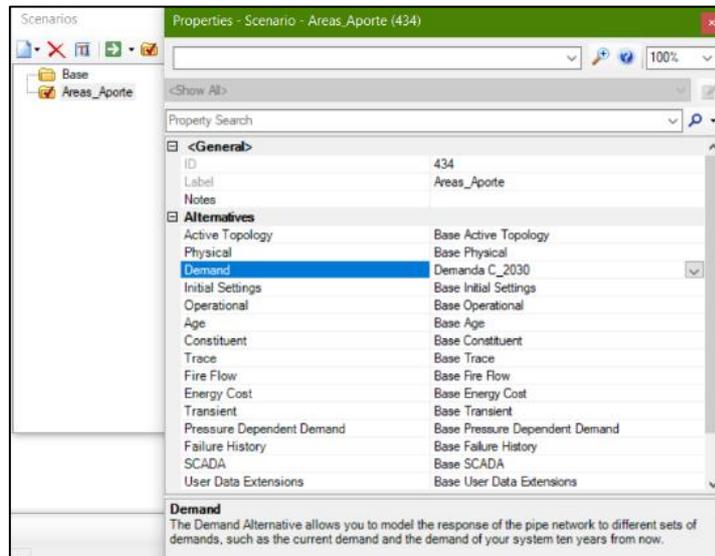


Figura 3.26 Escenarios del modelo

Fuente: Autor

Para cargar las demandas calculadas por el método de sistema de medidores se sigue el siguiente procedimiento (Bentley Systems Incorporated, 2018).

1. Se selecciona la herramienta *LoadBuilder*,  click en *New*, después se escoge *Point load data*, opción *Nearest Pipe* y click en *Next*, como lo indica la figura 3.27.

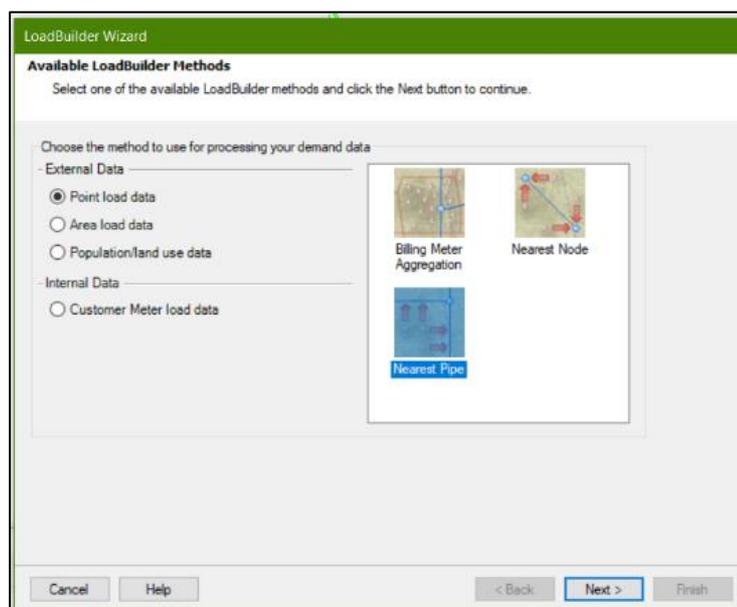


Figura 3.27 *LoadBuilder Wizard* demandas para medidores

Fuente: Autor

2. Luego aparecerá una ventana en la cual, en el campo *Pipe Layer* se escogerá *Pipe/All Elements*, luego en *Pipe ID Field* se selecciona *Element ID* y en *Load Assignment* se escoge la opción *Equal Distribution*. En el siguiente campo, en *Node Layer* se selecciona *Junction/All Elements* y en *Node ID Field* se escoge la opción *Element ID*, luego en *Billing Meter Layer* se carga el archivo de medidores con toda la información necesaria, luego en *Polyline Distribution* se selecciona *Proportional Distribution*, en *Usage Field* el QMH y su unidad en lt/s y por último click en *Next*, como lo indica la figura 3.28.

LoadBuilder Wizard

**Nearest Pipe**

Enter in data for all fields below and click Next to continue.

Model Pipes Data:

Pipe Layer: Pipe\All Elements

Pipe ID Field: ElementID

Load Assignment: Equal Distribution

Model Node Layer

Node Layer: Junction\All Elements

Node ID Field: ElementID

Use Previous Run

Billing Meter Data

Billing Meter Layer: D:\Respaldo\Desktop\TESIS\Hurtado T...

Load Type Field: <none>

Polyline Distribution: Proportional Distribution

Usage Field: QMH\_MAYO L/s

Cancel Help < Back Next > Finish

Figura 3.28 Ventana de campos para cargar archivo de demandas para medidores  
Fuente: Autor

3. Aparecerá una ventana en donde se detallará la demanda para cada medidor y luego se da click en *Next*, como lo indica la figura 3.29.

**LoadBuilder Wizard**  
**Results Preview**  
 List of calculation loads for each node.

Node Id	Demand (L/s)	Load Type	Pattern
918: VALLE_N_1	0,3489583333	Default	Fixed
916: VALLE_N_1	0,0251736111	Default	Fixed
915: VALLE_N_1	0,0477430556	Default	Fixed
910: VALLE_N_1	0,0416666667	Default	Fixed
909: VALLE_N_1	0,0711805556	Default	Fixed
907: VALLE_N_1	0,6336805556	Default	Fixed
906: VALLE_N_1	0,8437500000	Default	Fixed
904: VALLE_N_1	0,0434027778	Default	Fixed
902: VALLE_N_1	0,0043402778	Default	Fixed
901: VALLE_N_1	0,0295138889	Default	Fixed
899: VALLE_N_1	0,1710069444	Default	Fixed
897: VALLE_N_1	0,0078125000	Default	Fixed
895: VALLE_N_1	0,7508680556	Default	Fixed
893: VALLE_N_1	0,0451388889	Default	Fixed
889: VALLE_N_1	0,0538194444	Default	Fixed
886: VALLE_N_1	0,1744791667	Default	Fixed
884: VALLE_N_1	0,1145833333	Default	Fixed
881: VALLE_N_1	0,2317708333	Default	Fixed
879: VALLE_N_1	0,0876736111	Default	Fixed

Buttons: Cancel, Help, < Back, Next >, Finish

Figura 3.29 Demandas cargadas por el método de medidores  
 Fuente: Autor

- Luego se determinará en *Label* el nombre para la demanda como Medidores 2018 y en *New Alternative* se colocará el mismo. Por último, click en *Finish*, como lo indica la figura 3.30, y se finalizara el proceso de cargar las demandas en los tres sectores.

**LoadBuilder Wizard**  
**Completing the LoadBuild Process**  
 Click Finish to start the LoadBuild exporting process.

Label:

Choose the procedure to follow when exporting this run's Load calculations

Override an Existing Alternative   
 Append to an Existing Alternative   
 New Alternative   
 Parent Alternative:

Buttons: Cancel, Help, < Back, Next >, Finish

Figura 3.30 Determinación de *label* para demandas por el método de medidores  
 Fuente: Autor

Igualmente, este procedimiento se realizará tres veces debido a que se cargarán tres distintos periodos de demandas: 2018, 2023 y 2030

### 3.5.3 Datos en campo

Al completar la actualización del modelo, validando los errores y garantizando el funcionamiento, el siguiente paso es calibrar para dar certeza que el modelo hidráulico actual funciona tal y como lo hace la distribución de la red en la vida real. Para esto se ha hecho un muestreo en nodos estratégicos de las redes de cada sector. A continuación, en las figuras 3.31, 3.32, 3.33 y 3.34; y en las tablas 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 se presentarán las coordenadas y las presiones en campo de cada muestra.

#### Sector Cochas

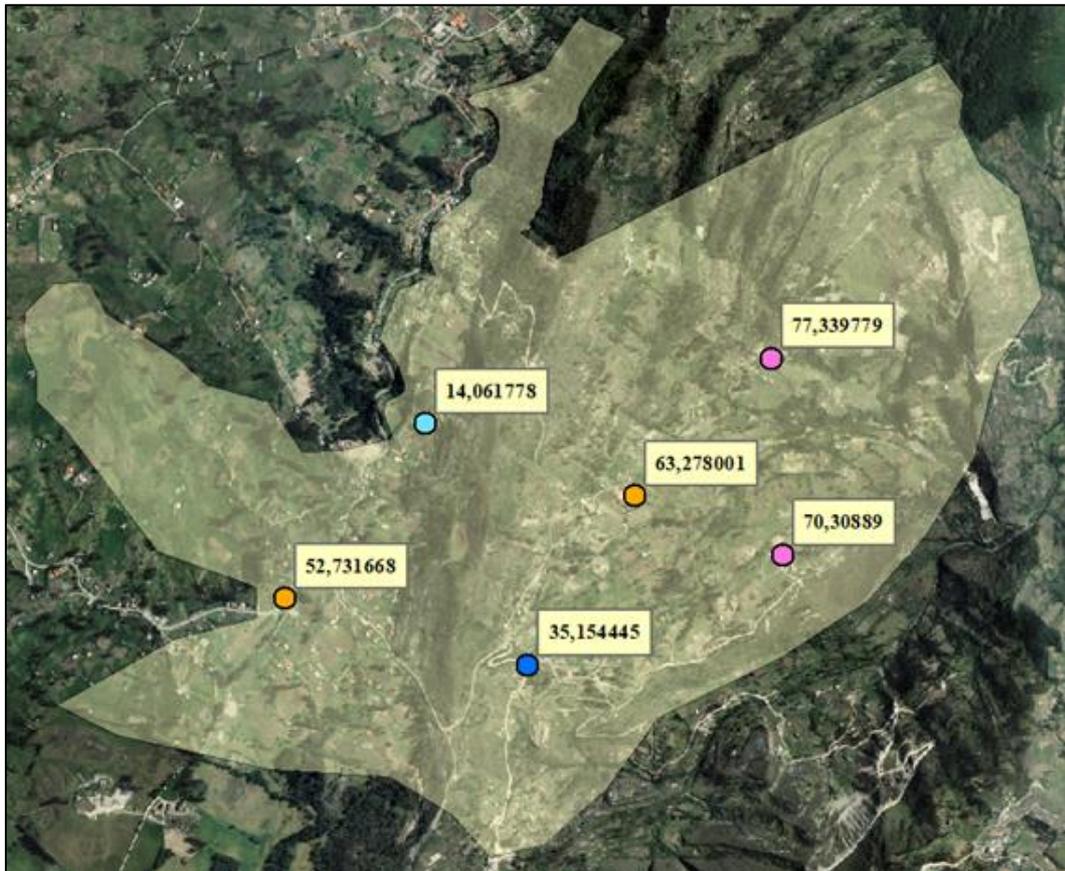


Figura 3.31 Ubicaciones y presiones de Cochas  
Fuente: Autor

Tabla 3.4 Presiones del muestreo del sector de Cochas

#	ID	UTM		09:00 -10:00		12:00 - 13:00	
		X	Y	Presión (PSI)	Presión (mca)	Presión (PSI)	Presión (mca)
1	176	729.060,05	9.677.398,65	75	52,73	68	47,81
2	143	729.835,18	9.677.183,90	50	35,15	45	31,64
3	84	730.176,20	9.677.728,81	90	63,29	87	61,169
4	439	730.649,71	9.677.538,32	100	70,31	100	70,31
5	134	730.611,48	9.678.171,40	110	77,34	95	66,79
6	190	729.508,28	9.677.960,32	20	14,06	15	10,55

Fuente: Autor

**Sector Paccha**

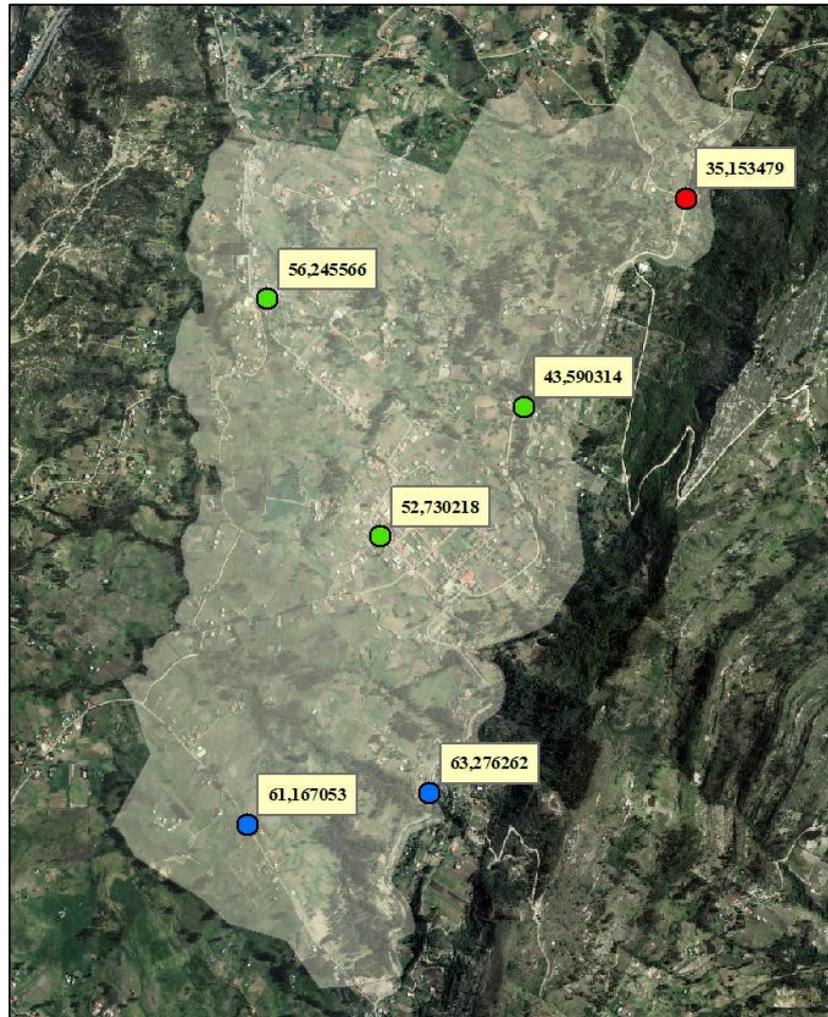


Figura 3.32 Ubicaciones y presiones de Paccha  
Fuente: Autor

Tabla 3.5 Presiones del muestreo del sector de Paccha

#	ID	UTM		09:00 -10:00		12:00 - 13:00	
		X	Y	Presión (PSI)	Presión (mca)	Presión (PSI)	Presión (mca)
1	229	730.348,55	9.680.544,22	50	35,15	50	35,15
2	221	728.943,41	9.680.203,16	80	56,25	80	56,25
3	198	729.803,49	9.679.837,75	62	43,59	64	45,00
4	251	729.322,51	9.679.399,27	75	52,73	75	52,73
5	493	728.876,33	9.678.422,34	87	61,17	78	54,84
6	546	729.487,65	9.678.529,30	90	63,28	86	60,46

Fuente: Autor

**Sector Rayoloma**

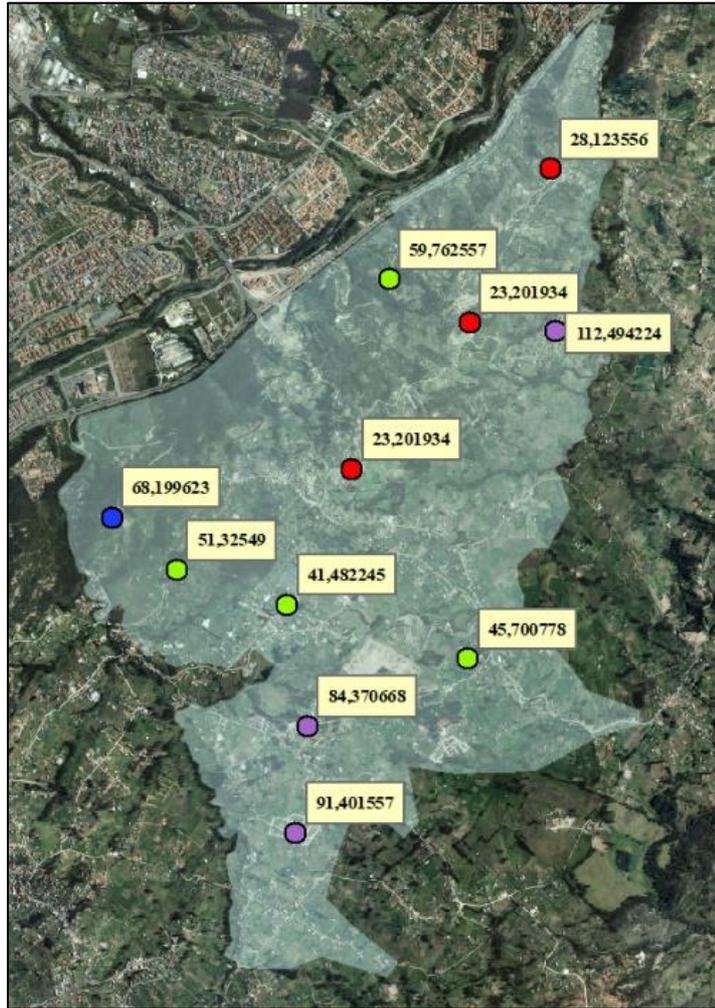


Figura 3.33 Ubicaciones y presiones de Rayoloma

Fuente: Autor

Tabla 3.6 Presiones del muestreo del sector de Rayoloma

#	ID	UTM		09:00 - 10:00		12:00 - 13:00	
		X	Y	Presión (PSI)	Presión (mca)	Presión (PSI)	Presión (mca)
1	601	728.423,66	9.680.731,53	40	28,12	40	28,12
2	931	727.445,99	9.680.058,37	85	59,76	82	57,65
3	999	728.452,45	9.679.743,38	160	112,49	155	108,98
4	892	727.935,57	9.679.793,04	33	23,20	30	21,09
5	1096	727.221,56	9.678.898,61	33	23,207	34	23,91
6	371	725.765,31	9.678.604,46	97	68,20	95	66,79
7	910	726.160,57	9.678.283,46	73	51,33	73	51,33
8	525	726.829,86	9.678.072,09	59	41,48	59	41,48
9	732	727.923,05	9.677.742,09	65	45,70	65	45,70
10	924	726.952,10	9.677.330,17	120	84,37	120	84,37
11	780	726.880,32	9.676.678,70	130	91,40	135	94,92

Fuente: Autor

**Sectores: Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo**



Figura 3.34 Ubicaciones y presiones de Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo  
Fuente: Autor

Tabla 3.7 Presiones del muestreo del sector de Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo

#	ID	UTM		09:00 - 10:00		12:00 - 13:00	
		X	Y	Presión (PSI)	Presión (mca)	Presión (PSI)	Presión (mca)
1	309	722.984,72	9.676.879,87	87	61,17	59	41,48
2	347	724.839,71	9.677.986,84	87	61,17	63	44,29
3	1259	724.888,40	9.677.170,33	90	63,28	85	59,76
4	756	725.716,57	9.677.738,15	78	54,84	78	54,84
5	1119	725.867,84	9.676.929,66	105	73,82	105	73,82
6	930	725.064,46	9.675.831,85	60	42,19	59	41,48
7	873	725.792,61	9.674.789,48	59	41,48	59	41,48
8	456	726.116,33	9.674.439,79	53	37,26	53	37,26
9	1045	726.531,78	9.674.965,06	60	42,19	60	42,19
10	1065	726.445,24	9.675.687,28	131	92,10	130	91,40
11	708	727.328,69	9.675.301,10	51	35,86	50	35,15
12	1274	727.945,47	9.674.568,73	10	7,03	10	7,03
13	1359	728.712,88	9.674.868,36	40	28,12	34	23,91

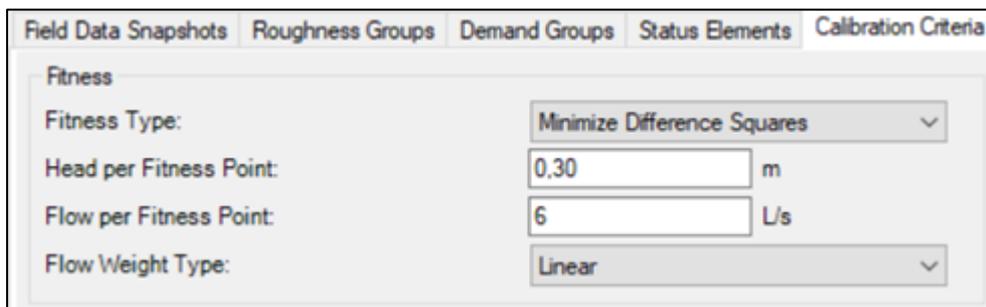
Fuente: Autor

### 3.5.4 Elección de criterio para calibrar en régimen permanente.

Una vez contando con todos los modelos hidráulicos, actualizados, cargados con elevaciones y demandas, validados y corregidos los errores de todos los elementos, se procede a la calibración con el *Calibrador de Darwin*, esta herramienta evalúa el estado de la red y da como resultado medidas de presiones, las cuales se deben ajustar a los datos de campo de muestras de presiones escritas en el punto anterior, el objetivo de la calibración es demostrar que el modelo hidráulico actualizado funciona como la red de abastecimiento de agua potable en la vida real.

Para realizar la calibración, con el software WaterGEMS, se sigue los siguientes pasos: En este caso con el ejemplo de los sectores de Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo.

1. Se abre el menú desplegable *Analysis/Darwin Calibrator*.  A continuación, se da click en *New* y se escoge la opción *New Calibration Study* para iniciar la configuración.
2. En la parte superior derecha se selecciona le etiqueta *Calibration Criteria* en donde, las siguientes opciones deben ser llenadas como se muestra en la figura 3.35:



Field Data Snapshots	Roughness Groups	Demand Groups	Status Elements	Calibration Criteria
Fitness				
Fitness Type:		Minimize Difference Squares		
Head per Fitness Point:		0.30	m	
Flow per Fitness Point:		6	L/s	
Flow Weight Type:		Linear		

Figura 3.35 Ventana *Calibration Criteria*

Fuente: Autor

3. Luego se selecciona la pestaña *Field Data Snapshots* y seguidamente se hace click en el botón *New*. Usando el botón *Rename*,  para el nuevo grupo de datos, se lo nombrará como “Día promedio”
4. En la tabla general del grupo de datos, se definirá como fecha el día de hoy, el tiempo inicial como las 12:00:00 AM (o 0:00:00 según el sistema operativo), el tiempo de inicio de las observaciones a las 00:00 y el multiplicador de demandas *Demand Multiplier* debe ser 1,00. Es importante verificar el escenario representativo para el cual se ingresarán los datos de campo, en este caso será **Medidores 2018**, como se indica en la figura 3.36.

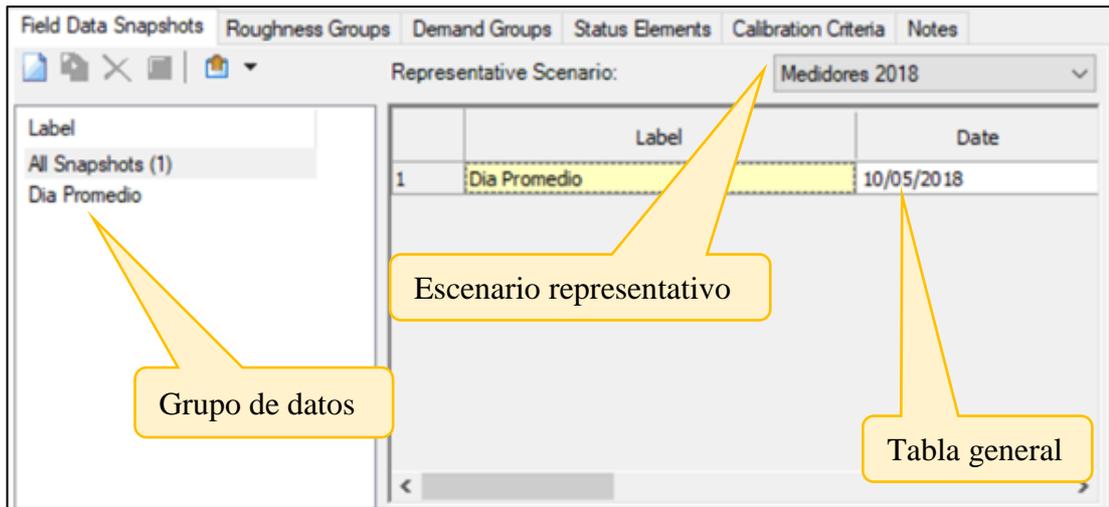


Figura 3.36 Ventana *Field Data Snapshots*  
Fuente: Autor

5. Teniendo seleccionado el grupo de datos “Día Promedio”, en la división inferior del cuadro de dialogo, se activará la pestaña *Observed Target*. En donde se ingresarán los nodos de la muestra de datos de campo, haciendo uso repetitivo del botón *New*. Para ingresar los datos, en la columna *Element*, se da click en el botón *elipsis (...)*. Luego aparecerá una ventana de la herramienta *Select*, en la cual con el botón *Find*, se podrá buscar el nodo escribiendo su código *ID* o el *Label*. Observe que el parámetro para las uniones de presión sea Grado Hidráulico, *HGL* y después en la columna *Value* ingresar sus valores. De esta manera se irán añadiendo todos los datos de campo correspondientes al sector como lo indica la figura 3.37.

Observed Target				
Boundary Overrides Demand Adjustments				
	Field Data Set	Element	Attribute	Value
1	Dia Promedio	VALLE_N_1249	Hydraulic Grade (m)	2.639,18
2	Dia Promedio	VALLE_N_1154	Hydraulic Grade (m)	2.566,70
3	Dia Promedio	VALLE_N_1566	Hydraulic Grade (m)	2.650,03
4	Dia Promedio	VALLE_N_1339	Hydraulic Grade (m)	2.550,60
5	Dia Promedio	VALLE_N_1510	Hydraulic Grade (m)	2.601,84
6	Dia Promedio	VALLE_N_1424	Hydraulic Grade (m)	2.648,58
7	Dia Promedio	VALLE_N_1395	Hydraulic Grade (m)	2.617,23
8	Dia Promedio	VALLE_N_1173	Hydraulic Grade (m)	2.661,06
9	Dia Promedio	VALLE_N_1479	Hydraulic Grade (m)	2.653,62

Figura 3.37 Ubicaciones y presiones de Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo  
Fuente: Autor

6. Se realiza la calibración por grupo de ajuste de rugosidades para todas las tuberías de PVC. Se selecciona la etiqueta de *Roughness Groups*, seguidamente se hace click en *New* y en la columna *Label* se ingresa el nombre “PVC”. Para ingresar las tuberías de PVC se da clic en el botón *elipsis (...)* de la columna *Elements ID's*. Inmediatamente aparecerá una ventana de la herramienta *Selection Set*, en la cual, con el botón *Select From Drawing*,  se desplegará el menú del botón *Query*  en donde se selecciona la opción *Network/All Pipes* y seguidamente el botón *Done*.  De ésta manera se agregarán a la lista todas las tuberías debido a que todas son de material PVC, como lo indican las figuras 3.38 y 3.39.

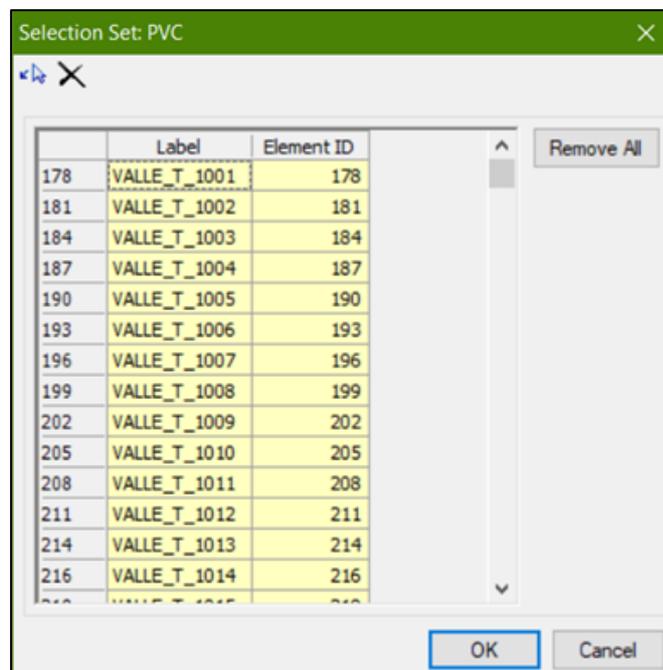


Figura 3.38 Ventana *Selection Set* para todas las tuberías de PVC

Fuente: Autor

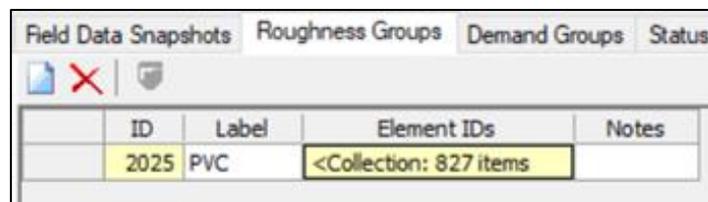


Figura 3.39 Ventana *Roughness Groups*

Fuente: Autor

7. En este paso se procederá a establecer los parámetros de variación para la calibración.

Simulación base manual:

- Abrir el menú desplegable del botón *New* en la pantalla principal del calibrador y elija la opción *New Manual Run*. A esta simulación se la llamará “Base”. En la sección derecha de la ventana del calibrador aparecerán cinco nuevas pestañas: *Roughness*, *Demand*, *Status*, *Field Data* y *Notes*.
- En la pestaña de *Roughness* mantenga el multiplicador del grupo de rugosidad, en 1.00 para mantener constante durante la simulación base, como lo indica la figura 3.40.

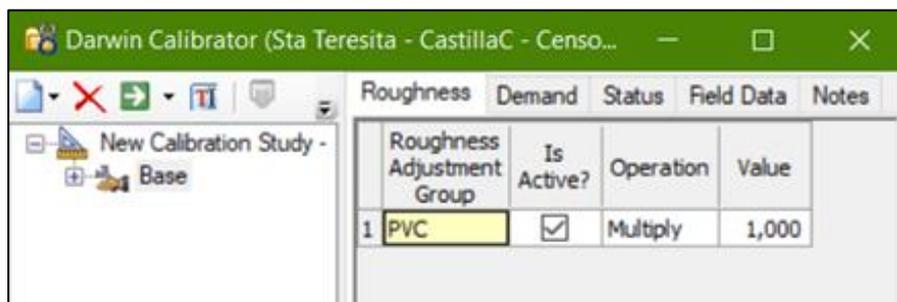


Figura 3.40 Ventana *Roughness* de la simulación base manual  
Fuente: Autor

- Las etiquetas *Demand* y *Status* no requieren de información debido a q no se han creado grupos para dichos parámetros.
- En la etiqueta *Field Data* verifique la observación de Día Promedio se encuentre activa, como lo indica la figura 3.41.



Figura 3.41 Ventana *Fiel Data* de la simulación base manual  
Fuente: Autor

- Hacer click en el botón *Compute*  para simular los cálculos de calibración y ver los resultados, al terminar el proceso haga click en *Close*.

- Se selecciona la categoría *Solutions* para observar el número *Fitness* de 71.987.256, como lo indica la figura 3.42, este número debe acercarse a 0 para un ser sistema idealmente calibrado.

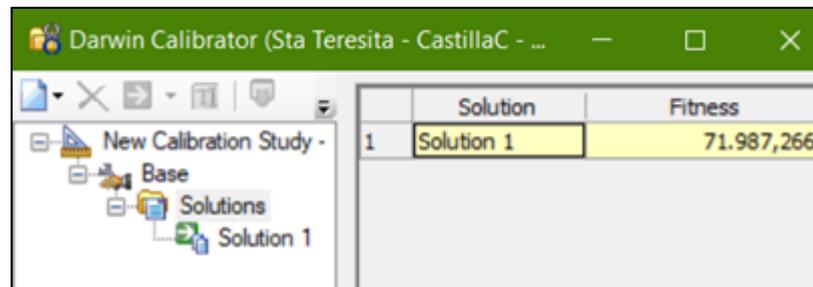


Figura 3.42 *Solutions* número *Fitness* de la simulación base manual  
Fuente: Autor

- Seleccionando la solución 1 en la pestaña *Simulated Results* podremos observar el valor de error *RMSE*. Además, en la tabla inferior, se calcula una diferencia de error entre los *HGL*, el observado y el calculado en metros, como lo indica la figura 3.43.

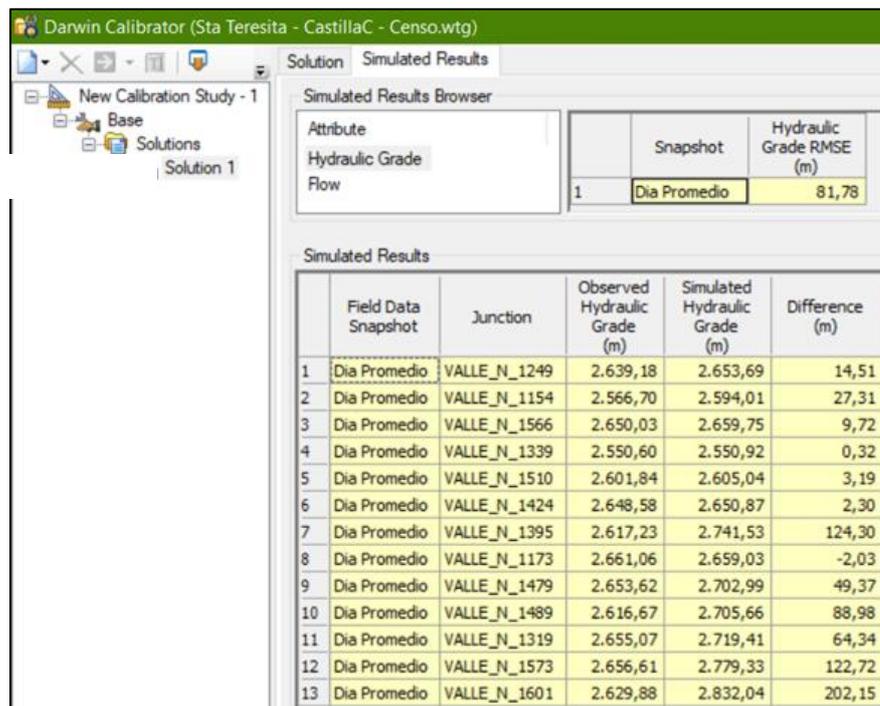


Figura 3.43 Ventana simulador de resultados / *Solution 1* de simulación base manual  
Fuente: Autor

- También se puede observar, haciendo click en el botón *Graph*,  una dispersión de puntos para mediciones de HGL, como lo indica la figura 3.44.

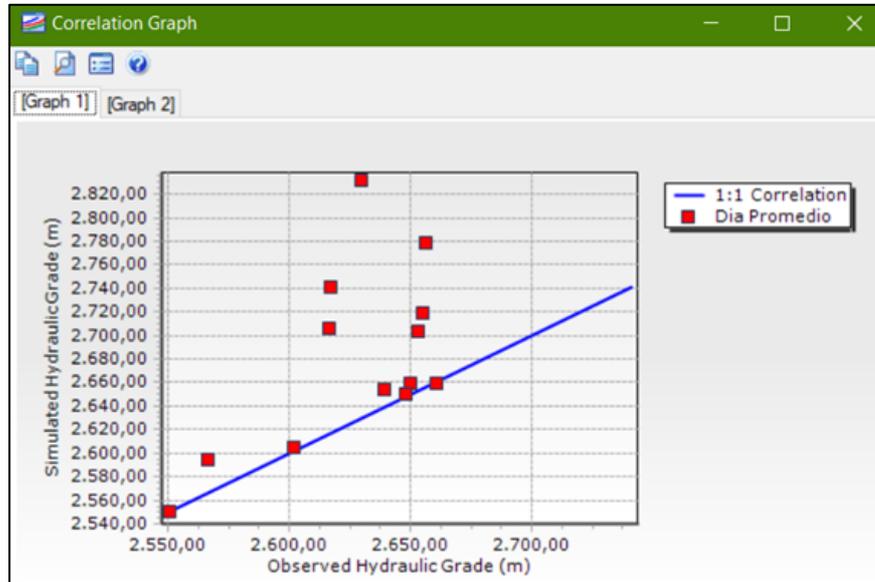


Figura 3.44 *Correlation Graph* de la simulación base manual  
Fuente: Autor

#### Calibración manual:

Este método de calibración es un poco más avanzado, debido a que es basado en el conocimiento que se posee del sistema y algunos supuestos intuitivos.

- Abrir el menú desplegable del botón *New* en la pantalla principal del calibrador y elija la opción *New Manual Run*. A esta simulación se la llamará “Reducir C”.
- En la pestaña de *Roughness* se cambiará el multiplicador del grupo de rugosidad, de 1.00 a 0.5, como lo indica la figura 3.45.

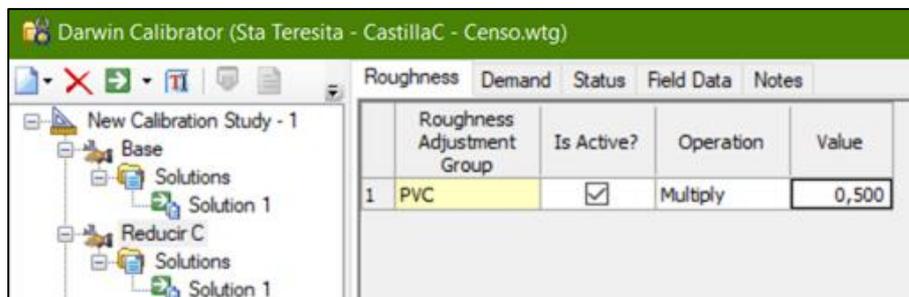


Figura 3.45 Ventana *Roughness* de la calibración manual  
Fuente: Autor

- Hacer click en el botón *Compute*  para simular los cálculos de calibración y ver los resultados, al terminar el proceso haga click en *Close*.

- Se selecciona la categoría *Solutions* para observar la disminución del número *Fitness* a 32.710,012, como lo indica la figura 3.46, por lo tanto, la hipótesis de reducir el multiplicador del grupo de rugosidad es aceptable.

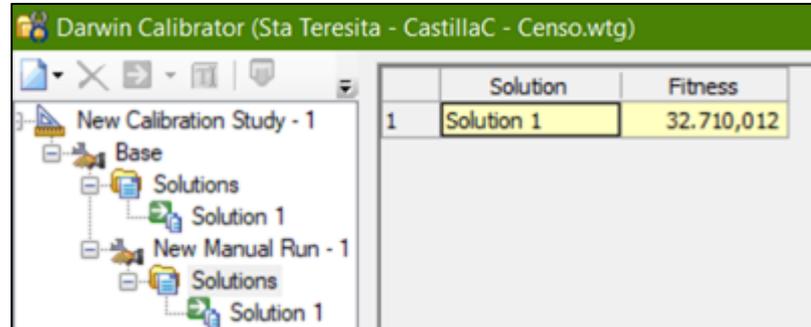


Figura 3.46 *Solutions* número *Fitness* de la calibración manual  
Fuente: Autor

- Seleccionando la solución 1 en la pestaña *Simulated Results* podremos observar el valor de error *RMSE*. Además, en la tabla inferior, se calcula una diferencia de error entre los *HGL*, el observado y el calculado en metros, como lo indica la figura 3.47.

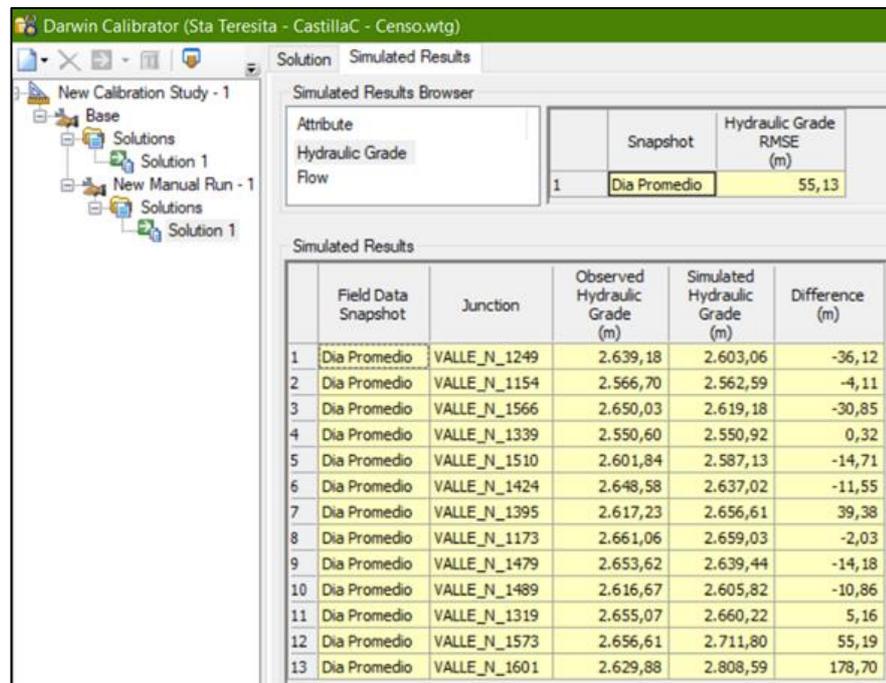


Figura 3.47 Ventana simulador de resultados / *Solution 1* de la Calibración manual  
Fuente: Autor

- Click en el botón *Graph*,  para poder observar la dispersión de puntos para mediciones de HGL, como lo indica la figura 3.48.

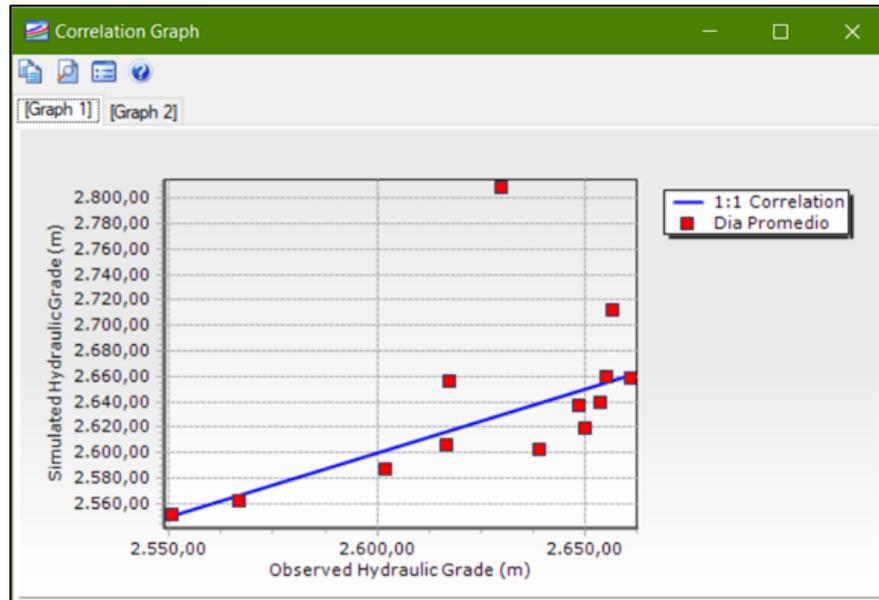


Figura 3.48 *Correlation Graph* de la calibración manual  
Fuente: Autor

#### Calibración con optimización:

Este tipo de calibración tiene la capacidad de utilizar algoritmos genéricos en WaterGEMS los cuales permiten llegar a una solución más ajustada

- Abrir el menú desplegable del botón *New* en la pantalla principal del calibrador y elija la opción *New Optimized Run*.
- La ventana de la derecha cambia de configuración: La pestaña de *Roughness* ahora permite el ingreso de un rango de valores para el parámetro de grupo de rugosidades. Los rangos de valores dependen netamente del conocimiento que se tenga del sistema, para este caso se escogerá el rango de 0,5 a 1,5, como lo indica la figura 3.49.

The screenshot shows the 'Darwin Calibrator' interface. On the left is a tree view with folders for 'New Calibration Study - 1', 'Reducir C', and 'New Optimized Run - 1'. The main window is titled 'Roughness' and contains a table with the following data:

Roughness Adjustment Group	Is Active?	Operation	Minimum Value	Maximum Value	Increment
1 PVC	<input checked="" type="checkbox"/>	Multiply	0,500	1,500	0,100

Figura 3.49 Ventana *Roughness* de la calibración con optimización  
Fuente: Autor

- Seleccione la pestaña de la parte superior *Options*, en donde las siguientes opciones deben ser llenadas como se muestra en la figura 3.50.

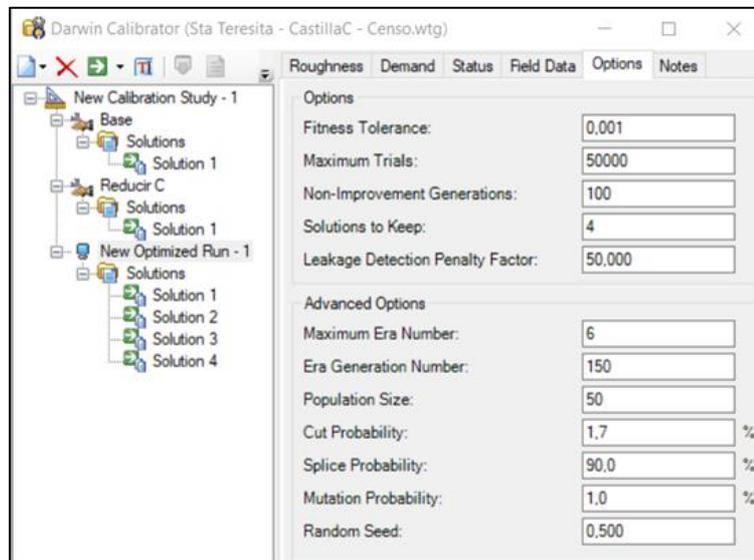


Figura 3.50 Ventana *Options* de la calibración con optimización  
Fuente: Autor

- Hacer click en el botón *Compute*  para simular los cálculos de calibración y ver los resultados, al terminar el proceso haga click en *Close*.
- Se selecciona la categoría *Solutions* para observar los números *Fitness*, como lo indica la figura 3.51.

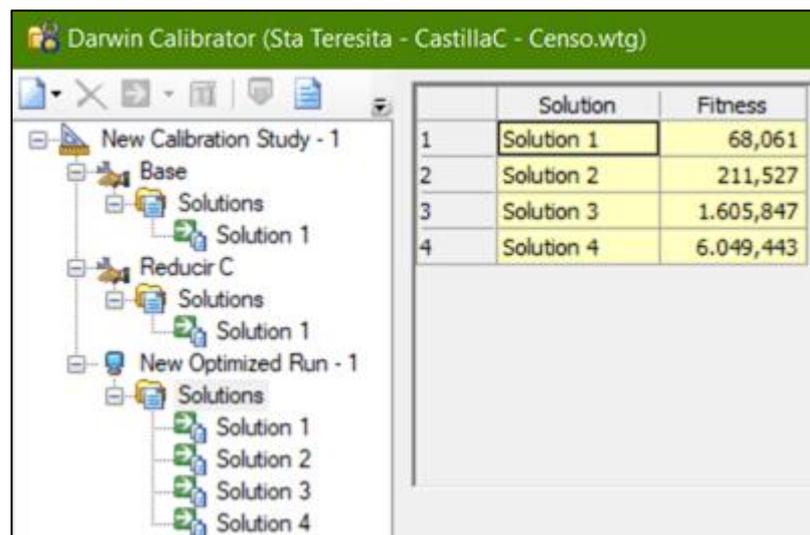


Figura 3.51 *Solutions* número *Fitness* de la calibración con optimización  
Fuente: Autor

- Como se puede observar la solución es la más ajustada, por lo tanto, se analizará el error *RMSE* y las diferencias de los *HGL*, el observado y el simulado, como lo indica la figura 3.52.

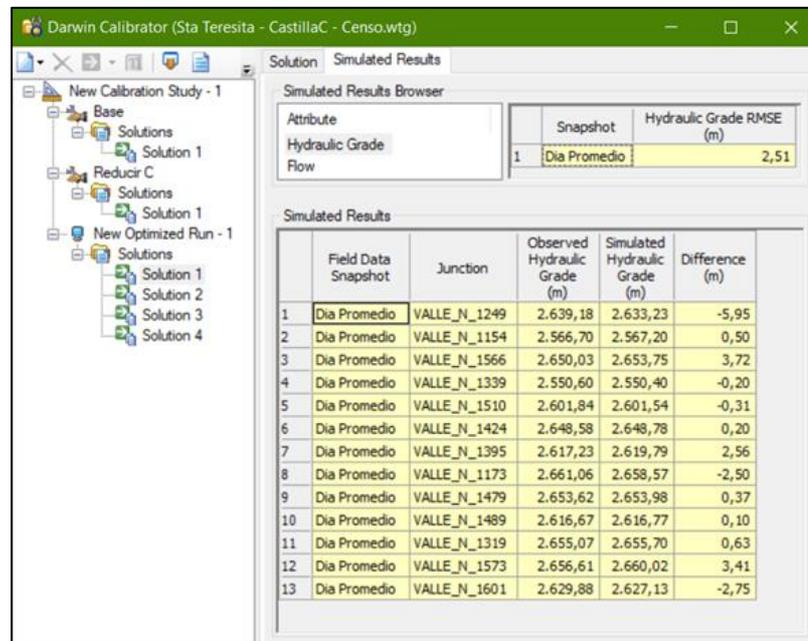


Figura 3.52 Ventana Simulador de resultados / *Solution 1* de la calibración con optimización  
Fuente: Autor

Click en el botón *Graph*,  para poder observar la dispersión de las mediciones del grado hidráulico, como lo indica la figura 3.53, en donde ya se pueden observar buenas aproximaciones entre los puntos y se puede dar por terminada la calibración (Bentley WaterGEMS, 2013).



Figura 3.53 *Correlation Graph* de la calibración con optimización  
Fuente: Autor

### **3.5.5 Simulación en periodo extendido**

La simulación en periodo extendido es una serie de simulaciones estáticas con condiciones variables en el tiempo, lo que hace que el modelo hidráulico realizado de cada sector adquiera un estado dinámico.

La simulación en periodo extendido se ha realizado mediante el software WaterGEMS, el cual se basa en los datos estáticos de la red, es decir, en su topología (elevaciones de los nodos; material, diámetro y longitud de tuberías; propiedades de los accesorios de la red). Esta clase de simulaciones pueden servir para dimensionar y analizar los niveles de los tanques, operar o ejecutar bombas o válvulas, verificar como las demandas cambian a lo largo del día, cuantificar gastos de energía, análisis de calidad de agua, etc (Alexandra & Gonzales Labanda, 2018).

En este caso se hará un análisis al comportamiento de consumos promedios de una red en un día, para esto se necesitará la información sobre los consumos y su variación horaria, la cual será facilitada por la empresa ETAPA EP, para representar las condiciones del sistema y finalmente computar para el intervalo del tiempo que se requiera.

Con una simulación en periodo extendido se puede observar una curva de modulación, la cual esta graficada en 2 ejes, el de las abscisas representa al tiempo que como mínimo debe tener 24 horas, y el de las ordenadas que representa a los caudales medios en un intervalo mínimo de 1 hora observando las variaciones de los consumos y el comportamiento de la red de abastecimiento de agua potable a través del tiempo determinado.

Las curvas de consumo que se realizarán para los sectores propuestos en este documento, de la parroquia El Valle, serán graficadas en base a patrones o multiplicadores de una curva típica con consumos máximos en las horas pico de un día ordinario, debido a que no se cuenta con datos en campo de los consumos de cada sector. Cabe recalcar que con los datos faltantes de consumos se podría alcanzar una curva óptima, con datos más reales, pero en este documento se las representarán en base a una curva estándar.

Los pasos para crear la simulación en periodo extendido para una distribución de agua en zona residencial en un día laboral son los siguientes:

1. Se abre el archivo del modelo hidráulico del sector.
2. Se elige en la barra de herramientas el menú desplegable *Components* y a continuación click en *Patterns* para abrir la ventana de la administración de modelos.
3. Elegimos un nuevo modelo con el botón *New*  denominándolo “Residencial”, con un tiempo de inicio a las 12:00:00am, un multiplicador inicial según los patrones de consumos del sector y en *Pattern Format* se selecciona *Stepwise*.

Se recalca que el multiplicador de la última hora (24 horas) debe ser el mismo que el multiplicador Inicial, debido a que la curva de demanda representa un ciclo completo.

Los multiplicadores representan la relación entre muestras en campo de caudales con el caudal medio del sector, como lo indica la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Tabla de multiplicadores para 24 horas

Tiempos desde	Multiplicador	Tiempos desde	Multiplicador
1	0,1	13	0,4
2	0,09	14	0,35
3	0,08	15	0,3
4	0,08	16	0,35
5	0,08	17	0,4
6	0,2	18	0,45
7	0,15	19	0,5
8	0,14	20	0,55
9	0,13	21	0,4
10	0,2	22	0,3
11	0,25	23	0,25
12	0,3	24	0,1

Fuente: Autor

- Click en la pestaña *Hourly*, en donde se llenarán los tiempos de inicios con sus respectivos multiplicadores y en la parte de abajo, en la ventana de dialogo, se mostrará la curva, como lo indica la figura 3.54.

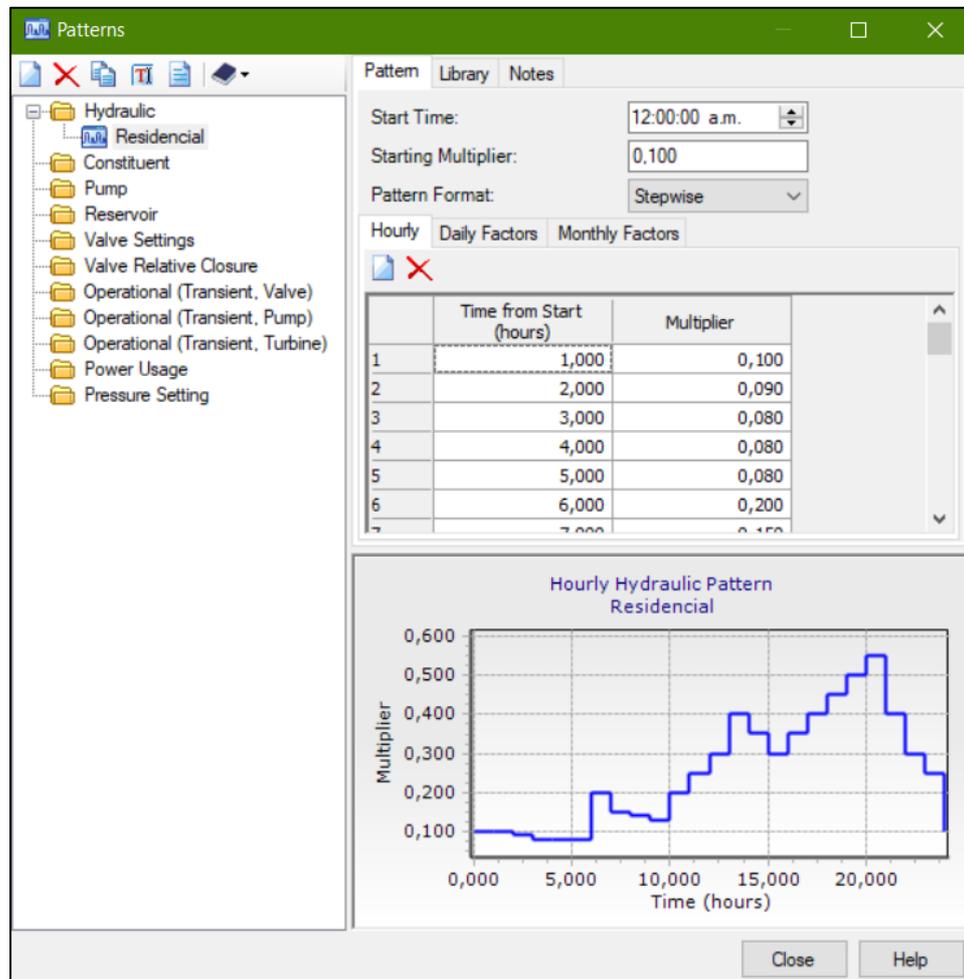


Figura 3.54 Ventana *Patterns*, administración de modelos.  
Fuente: Autor

- El patrón creado como *Residencial* debe ser elegido para todos los nodos, así que en este paso se escogerá esta opción en la ventana de control de demandas, mediante el menú desplegable *Tools* y luego click en la opción *Demand Control Center*. En la columna de *Pattern/Demand* se da click derecho y se escoge la opción *Global Edit*, en la opción de *Value* se cambia la opción de *Fixed* por la de “*Residencial*” y finalmente con esto todos los nodos estarán con la opción de ese patrón, como lo indica la figura 3.55.

The screenshot shows the 'Demand Control Center' window with a toolbar and a table of junction data. The table has columns for ID, Label, Demand (Base) (L/s), Pattern (Demand), and Zone. The data is as follows:

	ID	Label	Demand (Base) (L/s)	Pattern (Demand)	Zone
1	165	P_N_4071	0,0703	Residencial	<None>
2	336	1130	0,3536	Residencial	<None>
3	116	P_N_4022	0,0593	Residencial	<None>
4	211	1084	0,0795	Residencial	<None>
5	126	P_N_4032	0,6065	Residencial	<None>
6	167	P_N_4073	0,0665	Residencial	<None>
7	118	P_N_4024	0,0722	Residencial	<None>
8	155	P_N_4061	0,1229	Residencial	<None>
9	286	1098	0,0509	Residencial	<None>
10	142	P_N_4048	0,0790	Residencial	<None>
11	184	1115	0,2095	Residencial	<None>
12	147	P_N_4053	0,1159	Residencial	<None>
13	333	2036	0,2063	Residencial	<None>
14	474	J-8	0,2999	Residencial	<None>
15	204	2119	0,3815	Residencial	<None>
16	501	J-18	0,1942	Residencial	<None>
17	498	J-16	0,2986	Residencial	<None>
18	309	1120	0,1302	Residencial	<None>
19	370	1048	0,0875	Residencial	<None>

Figura 3.55 Ventana *Demand Control Center*

Fuente: Autor

6. Se elige en la barra de herramientas el menú desplegable *Analysis* y click en la opción *Calculation Options*  que mostrará una ventana en donde se creará el estado de Simulación en Periodo Extendido, con el botón *New* , como lo indica la figura 3.56.

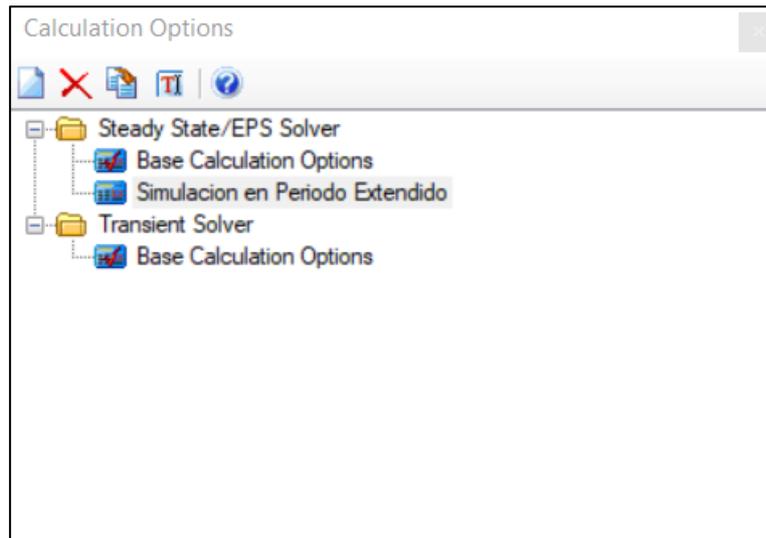


Figura 3.56 Ventana *Calculation Options*  
Fuente: Autor

7. Después se da doble click para abrir el administrador de propiedades y se selecciona la opción de *EPS* en el campo de *Time Analysis Type*, como lo indica la figura 3.57.

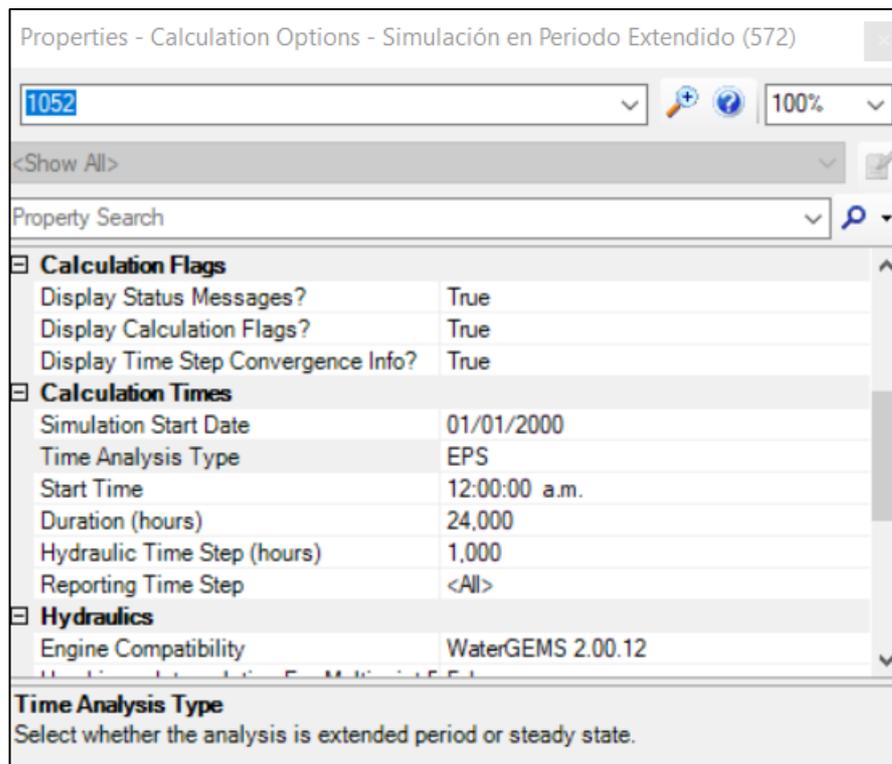


Figura 3.57 Propiedades del estado simulación en periodo extendido  
Fuente: Autor

8. Luego se da click en el botón *Scenarios* , se escoge el escenario en el cual se está trabajando, en este caso *Áreas\_Aporte*, y se abre la ventana de propiedades para cambiar en el campo de *Calculation Options* el *Steady State/Eps Solver Calculation Options*, colocando el nuevo estado de Simulación en Periodo Extendido, como lo indica la figura 3.58.

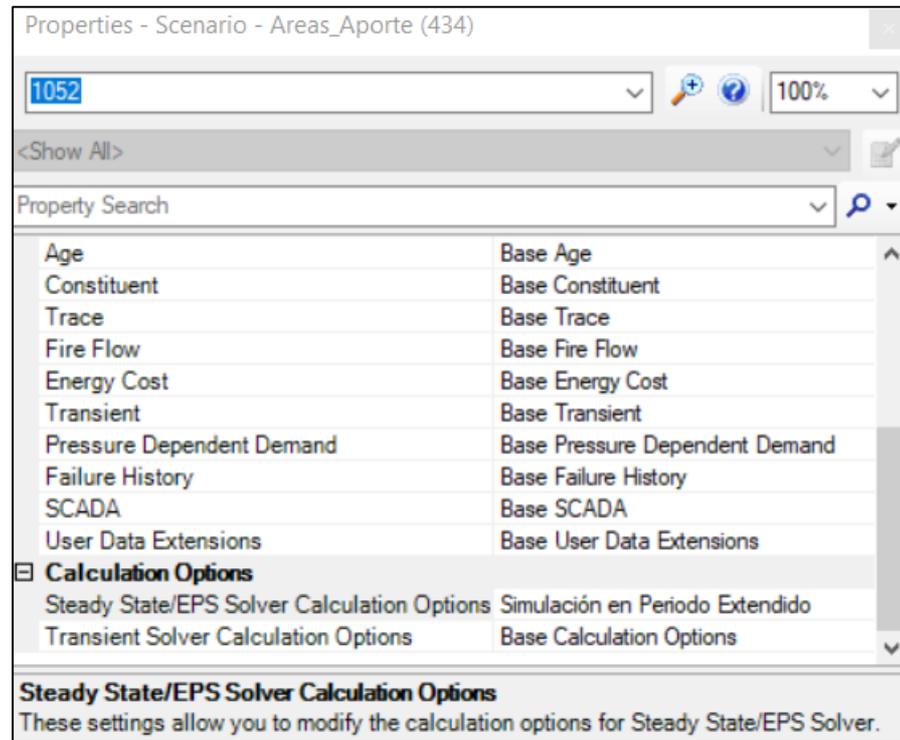


Figura 3.58 Propiedades del escenario *Áreas\_Aporte*  
Fuente: Autor

9. Después se da click en validar  para corregir cualquier error y luego click en Compute  para analizar el modelo.
10. Si la simulación esta con errores la ventana de dialogo de notificaciones del usuario los detallará, si no, se abrirá un resumen de cálculos en el cual se podrá observar la curva de consumo en periodo extendido, con el botón *Calculation Summary Graph* . En esta ventana se podrá observar la curva graficada con puntos que varían según la demanda y la hora en un día.
11. Finalmente se guarda el proyecto.  
(Bentley WaterGEMS, 2013).

### 3.5.6 Resultados

#### 3.5.6.1 Calibración en régimen permanente.

A continuación, se mostrarán los resultados de la calibración en cada uno de los sectores de la parroquia El Valle, mediante las tablas 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12 y las figuras 3.59, 3.60, 3.61 y 3.62; en donde se puede observar las diferencias entre las presiones modeladas y reales que cumplen con una tolerancia de  $\pm 5$  para garantizar una buena calibración y un correcto funcionamiento del modelo en régimen permanente.

#### Sector Cochabamba

La mayor tolerancia de presión, catalogada como aceptable, es de 3.30 mca.

Tabla 3.9 Tolerancia de presiones Cochabamba

Datos	Nodo	Grado hidráulico observado (m)	Grado hidráulico calculado (m)	Diferencia de presiones (mca)
Día promedio	MS08_N_1070	2.722,76	2.722,63	-0,13
Día promedio	MS08_N_1053	2.719,29	2.719,86	0,57
Día promedio	MS08_N_1019	2.713,90	2.710,60	-3,30
Día promedio	J-69	2.688,95	2.687,51	-1,44
Día promedio	MS08_N_1048	2.695,17	2.698,00	2,83
Día promedio	MS08_N_1073	2.717,20	2.717,97	0,77

Fuente: Autor

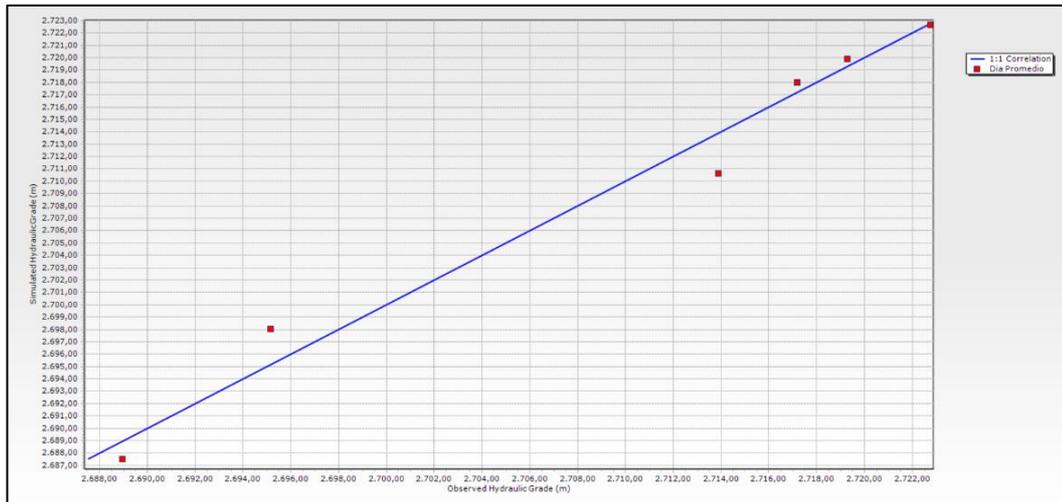


Figura 3.59 Calibración final Cochabamba

Fuente: Autor

**Sector Paccha**

La mayor tolerancia de presión, catalogada como aceptable, es de 2.06 mca.

Tabla 3.10 Tolerancia de presiones Paccha

Datos	Nodo	Grado hidráulico observado (m)	Grado hidráulico calculado (m)	Diferencia de presiones (mca)
Día promedio	1080	2.654,99	2.652,93	-2,06
Día promedio	2016	2.560,81	2.560,88	0,07
Día promedio	1121	2.653,45	2.653,30	-0,15
Día promedio	2075	2.629,04	2.629,71	0,67
Día promedio	J-13	2.639,26	2.638,74	-0,52
Día promedio	J-37	2.696,19	2.696,98	0,79

Fuente: Autor

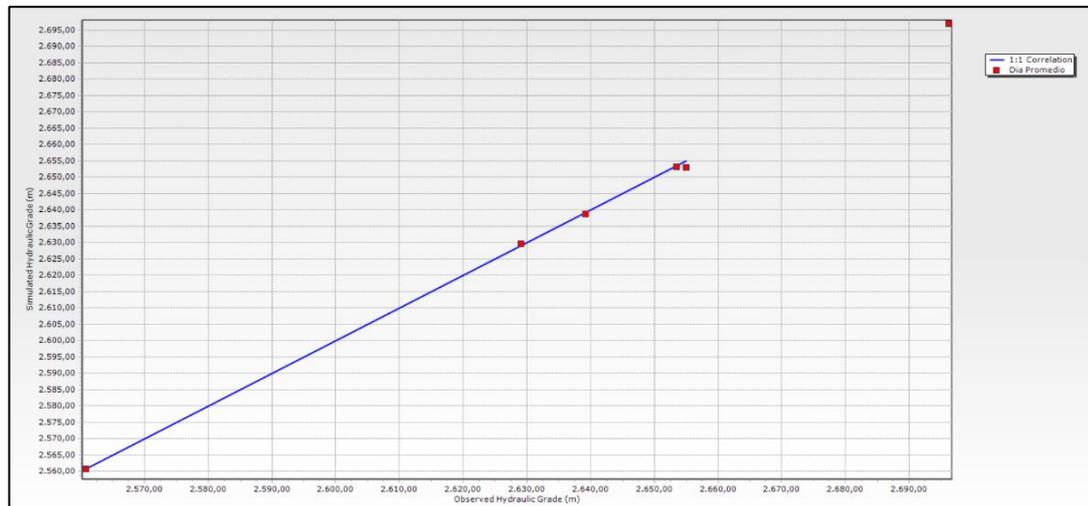


Figura 3.60 Calibración final Paccha

Fuente: Autor

**Sector de Rayoloma**

La mayor tolerancia de presión, catalogada como aceptable, es de 2.48 mca.

Tabla 3.11 Tolerancia de presiones Rayoloma

Datos	Nodo	Grado hidráulico observado (m)	Grado hidráulico calculado (m)	Diferencia de presiones (mca)
Día promedio	2323	2.608,79	2.610,17	1,38
Día promedio	1498	2.615,18	2.615,45	0,27
Día promedio	1108	2.638,63	2.637,95	-0,68
Día promedio	1203	2.659,83	2.659,42	-0,41
Día promedio	1542	2.661,86	2.661,75	-0,11
Día promedio	R_N_4214	2.660,41	2.660,93	0,52
Día promedio	2368	2.589,90	2.590,16	0,27
Día promedio	1256	2.615,92	2.616,27	0,34
Día promedio	1003	2.652,24	2.653,86	1,62
Día promedio	1033	2.627,05	2.628,59	1,54
Día promedio	2470	2.628,64	2.626,16	-2,48

Fuente: Autor

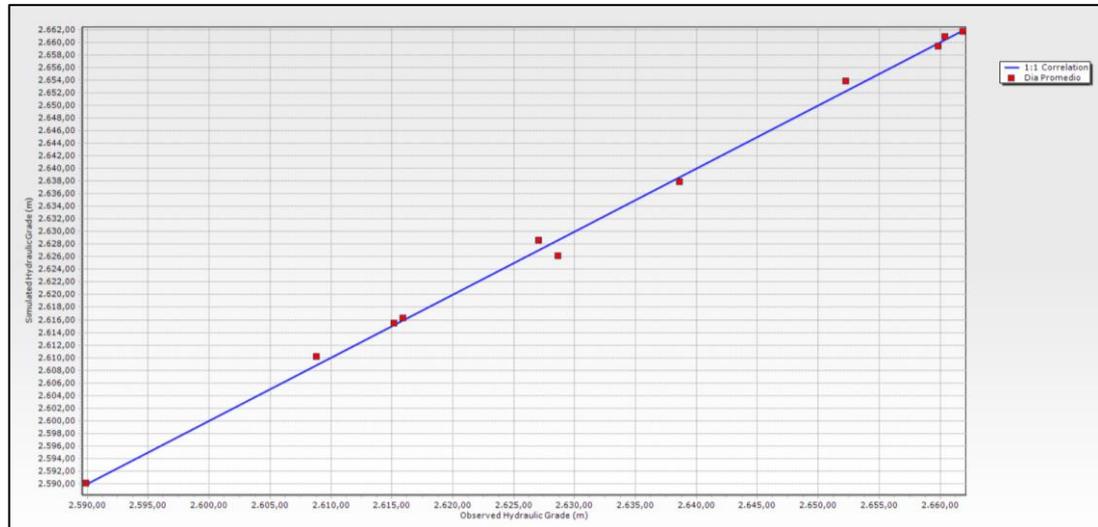


Figura 3.61 Calibración final Rayoloma

Fuente: Autor

**Sector Santa Teresita, El Censo y Castilla Cruz**

La mayor tolerancia de presión, catalogada como aceptable, es de 2.72 mca.

Tabla 3.12 Tolerancia de presiones Santa Teresita, El Censo y Castilla Cruz

Datos	Nodo	Grado hidráulico observado (m)	Grado hidráulico calculado (m)	Diferencia de presiones (mca)
Día promedio	VALLE_N_1249	2.634,97	2.636,11	1,14
Día promedio	VALLE_N_1154	2.566,70	2.566,37	-0,33
Día promedio	VALLE_N_1566	2.650,03	2.652,75	2,72
Día promedio	VALLE_N_1339	2.550,60	2.550,58	-0,02
Día promedio	VALLE_N_1510	2.601,84	2.602,31	0,46
Día promedio	VALLE_N_1424	2.648,58	2.649,21	0,64
Día promedio	VALLE_N_1395	2.617,23	2.614,56	-2,67
Día promedio	VALLE_N_1173	2.661,06	2.658,72	-2,34
Día promedio	VALLE_N_1479	2.653,62	2.652,26	-1,36
Día promedio	VALLE_N_1489	2.616,67	2.616,76	0,08
Día promedio	VALLE_N_1319	2.655,07	2.654,91	-0,16
Día promedio	VALLE_N_1573	2.656,61	2.654,26	-2,35
Día promedio	VALLE_N_1601	2.629,88	2.629,17	-0,72

Fuente: Autor

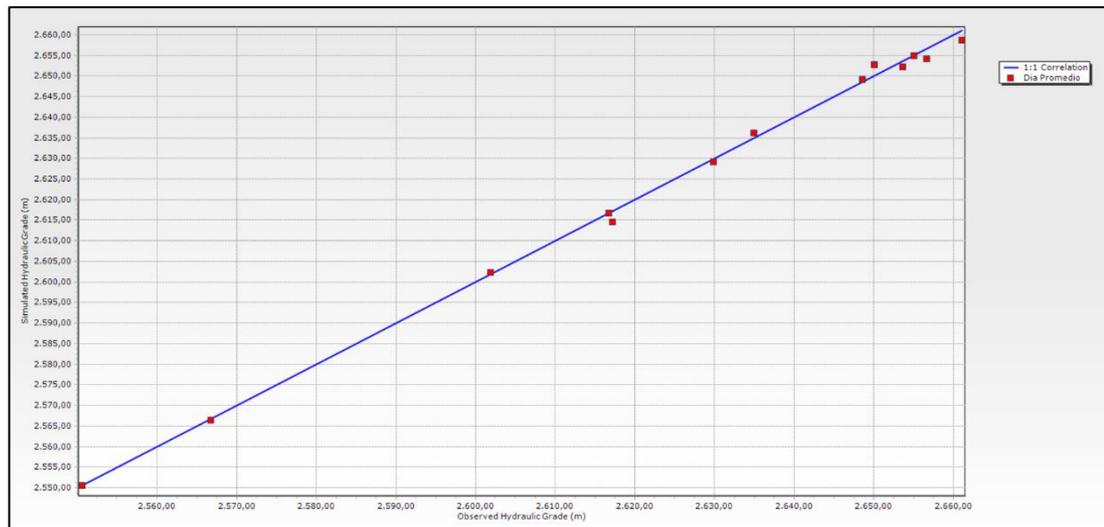


Figura 3.62 Calibración final Santa Teresita - El Censo - Castilla Cruz

Fuente: Autor

### **3.5.6.2 Curva de consumo con simulación en periodo extendido.**

A continuación, se mostrarán las gráficas que detallarán los comportamientos de las demandas de cada sector a lo largo de un día ordinario en zona residencial. El procedimiento para la elaboración de la curva se realizó en base a multiplicadores o patrones que representen una curva estándar con consumos máximos en las horas pico de un día común y corriente, debido a que no se cuenta con datos verídicos de consumos de hora a hora de cada sector.

En las siguientes tablas 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 se observa una comparación de las presiones tomadas en campo con las presiones del modelo para cada sector, en donde se puede observar la aproximación que tienen las presiones de algunos nodos. Esto indica que las curvas de consumo, representadas en las figuras 3.63, 3.64, 3.65 y 3.66, en periodo extendido del modelo de cada sector, pueden representar un comportamiento casi similar al de la red de distribución.

### Sector Rayoloma

Tabla 3.13 Comparación de presiones en campo vs presiones del modelo, sector Rayoloma

#	ID	UTM		09:00 -10:00		12:00 - 13:00	
		X	Y	Presión en campo (mca)	Presión del modelo (mca)	Presión en campo (mca)	Presión del modelo (mca)
1	601	728.423,66	9.680.731,53	28,12	29.70	28,12	29.60
2	931	727.445,99	9.680.058,37	59,76	75.90	57,65	71.20
3	999	728.452,45	9.679.743,38	112,49	183.10	108,98	173.40
4	892	727.935,57	9.679.793,04	23,20	33.30	21,09	29.00
5	1096	727.221,56	9.678.898,61	23,207	29.30	23,91	25.50
6	371	725.765,31	9.678.604,46	68,20	86.40	66,79	79.30
7	910	726.160,57	9.678.283,46	51,33	52.90	51,33	52.70
8	525	726.829,86	9.678.072,09	41,48	95.60	41,48	80.90
9	732	727.923,05	9.677.742,09	45,70	48.00	45,70	47.60
10	924	726.952,10	9.677.330,17	84,37	109.50	84,37	105.10
11	780	726.880,32	9.676.678,70	91,40	114.90	94,92	110.30

Fuente: Autor

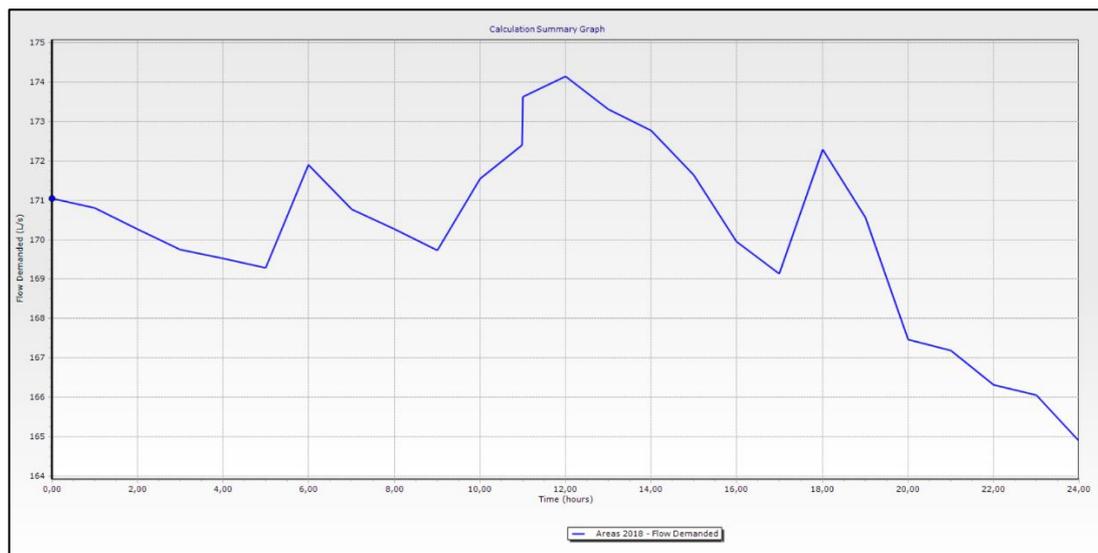


Figura 3.63 Curva de consumo sector Rayoloma

Fuente: Autor

**Sector Cochabamba**

Tabla 3.14 Comparación de presiones en campo vs presiones del modelo, sector Cochabamba

#	ID	UTM		09:00 -10:00		12:00 - 13:00	
		X	Y	Presión en campo (mca)	Presión del modelo (mca)	Presión en campo (mca)	Presión del modelo (mca)
1	176	729.060,05	9.677.398,65	52,73	48.80	47,81	45.20
2	143	729.835,18	9.677.183,90	35,15	44.70	31,64	44.70
3	84	730.176,20	9.677.728,81	63,29	78.10	61,169	78.10
4	439	730.649,71	9.677.538,32	70,31	69.20	70,31	69.20
5	134	730.611,48	9.678.171,40	77,34	102	66,79	102.00
6	190	729.508,28	9.677.960,32	14,06	14.10	10,55	11.20

Fuente: Autor

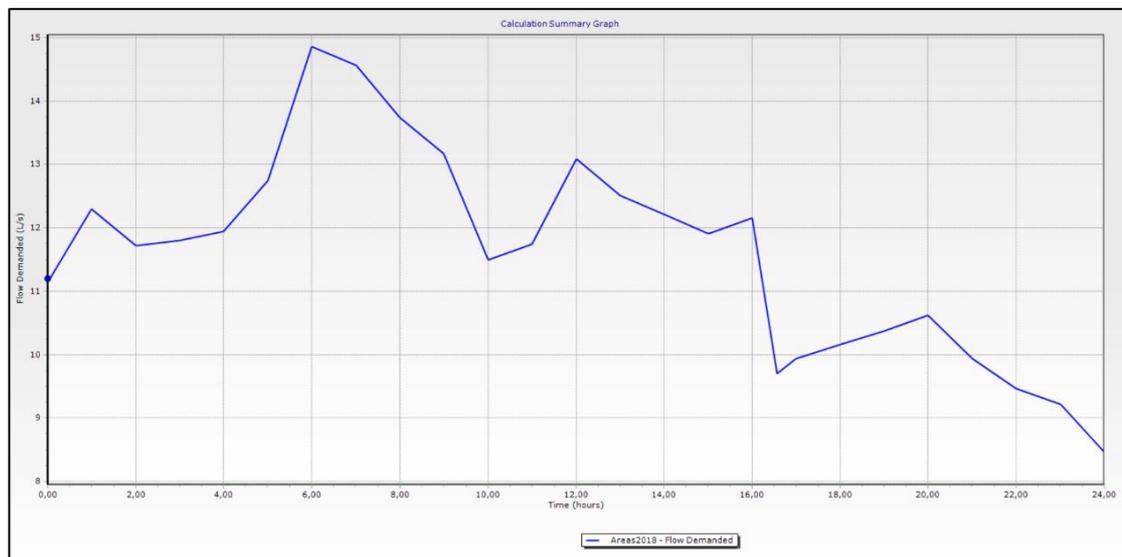


Figura 3.64 Curva de consumo sector Cochabamba

Fuente: Autor

**Sectores: Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo**

Tabla 3.15 Comparación de presiones en campo vs presiones del modelo, sector Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo

#	ID	UTM		09:00 -10:00		12:00 - 13:00	
		X	Y	Presión en campo (mca)	Presión del modelo (mca)	Presión en campo (mca)	Presión del modelo (mca)
1	309	722.984,72	9.676.879,87	61,17	89.20	41,48	86.10
2	347	724.839,71	9.677.986,84	61,17	114.70	44,29	113.70
3	1259	724.888,40	9.677.170,33	63,28	72.60	59,76	71.30
4	756	725.716,57	9.677.738,15	54,84	55.00	54,84	55.00
5	1119	725.867,84	9.676.929,66	73,82	76.50	73,82	76.10
6	930	725.064,46	9.675.831,85	42,19	43.90	41,48	41.90
7	873	725.792,61	9.674.789,48	41,48	104.20	41,48	88.40
8	456	726.116,33	9.674.439,79	37,26	35.20	37,26	35.10
9	1045	726.531,78	9.674.965,06	42,19	50.90	42,19	43.20
10	1065	726.445,24	9.675.687,28	92,10	141.30	91,40	129.00
11	708	727.328,69	9.675.301,10	35,86	51.10	35,15	38.30
12	1274	727.945,47	9.674.568,73	7,03	14.80	7,03	7.80
13	1359	728.712,88	9.674.868,36	28,12	93.70	23,91	64.30

Fuente: Autor

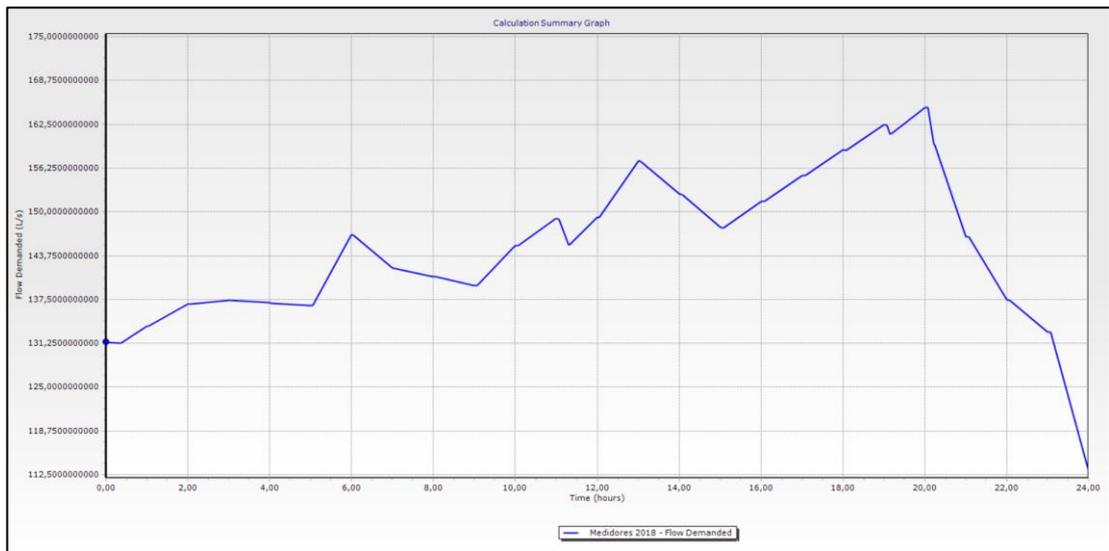


Figura 3.65 Curva de consumo sector Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo

Fuente: Autor

**Sector Paccha**

Tabla 3.16 Comparación de presiones en campo vs presiones del modelo, sector Paccha

#	ID	UTM		09:00 -10:00		12:00 - 13:00	
		X	Y	Presión en campo (mca)	Presión del modelo (mca)	Presión en campo (mca)	Presión del modelo (mca)
1	229	730.348,55	9.680.544,22	35,15	33.50	35,15	33.50
2	221	728.943,41	9.680.203,16	56,25	56.40	56,25	56.40
3	198	729.803,49	9.679.837,75	43,59	43.50	45,00	49.50
4	251	729.322,51	9.679.399,27	52,73	61.60	52,73	61.60
5	493	728.876,33	9.678.422,34	61,17	66.10	54,84	66.10
6	546	729.487,65	9.678.529,30	63,28	59.60	60,46	53.30

Fuente: Autor

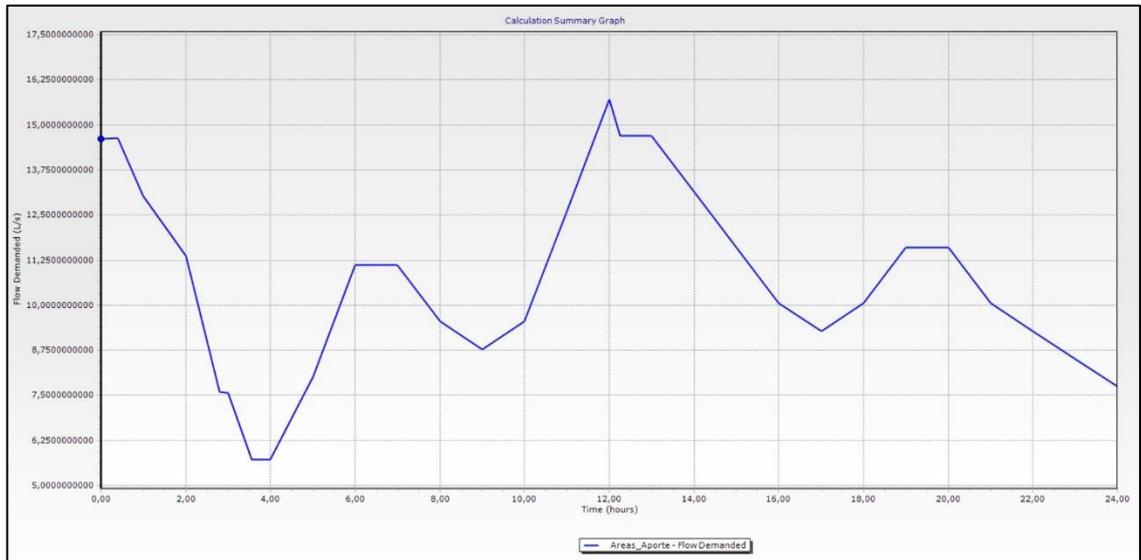


Figura 3.66 Curva de consumo sector Paccha

Fuente: Autor

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

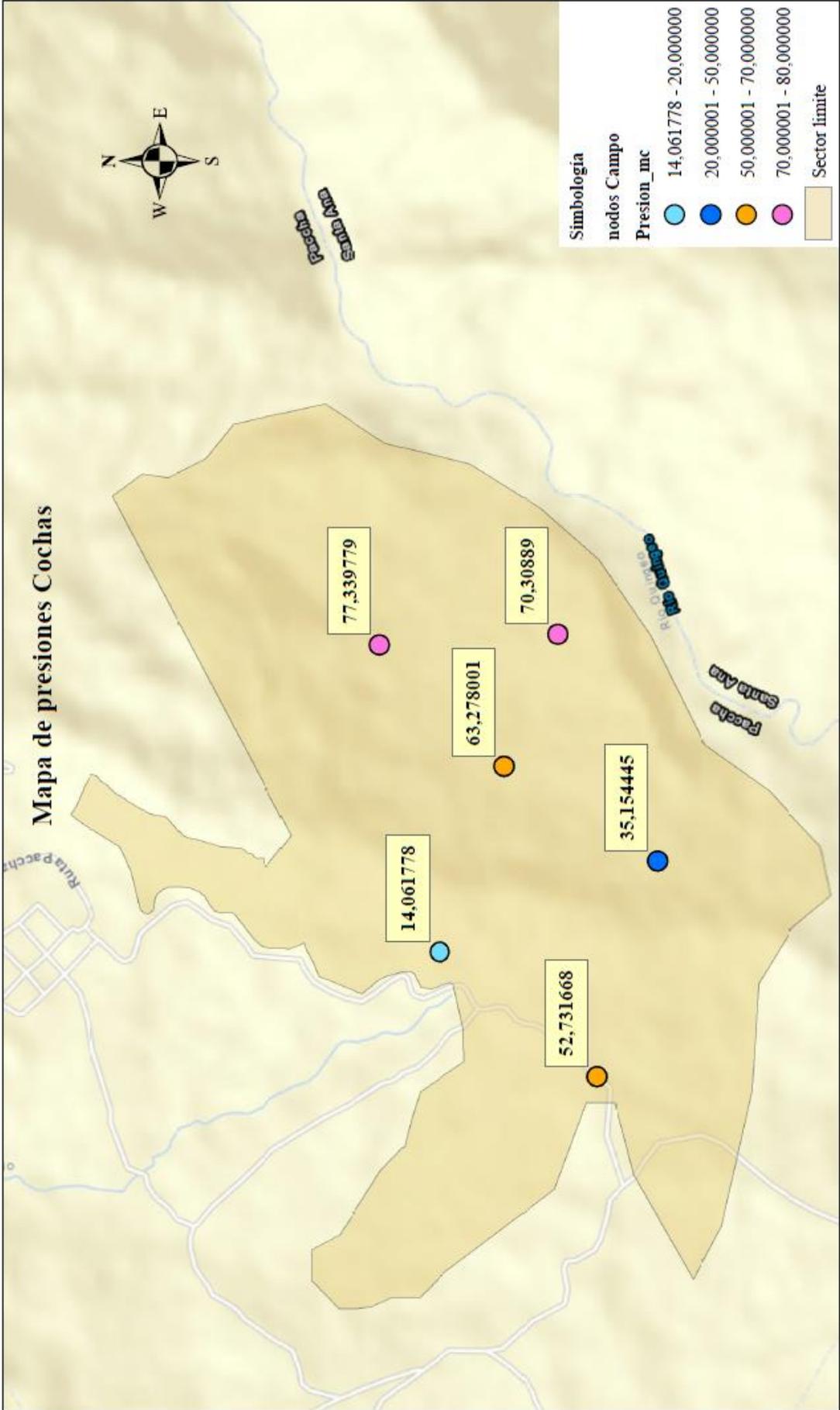
- Se recopiló los datos cartográficos, demográficos, topográficos, catastrales, de consumos y de dotaciones, los cuales fueron indispensables para el desarrollo de la actualización y calibración de los modelos hidráulicos base de los sectores de Cochas, Paccha, Rayoloma, Santa Teresita, Castilla Cruz y El Censo; ubicados en la parroquia El Valle. Se garantiza que la información recopilada es actual y fue proporcionada por la empresa ETAPA EP, lo cual hace que los cálculos y resultados obtenidos en este documento sean 100% confiables.
- Se actualizaron los modelos hidráulicos de cada sector en el software WaterGEMS, mediante la observación de la información catastral, la cual detalla la existencia de nuevos accesorios hidráulicos y redes, a su vez informa sobre los catastros que han sido eliminados. Se utilizaron herramientas computacionales para la elaboración de los gráficos que representan tuberías, nodos y accesorios hidráulicos
- Se completó y se cargó la información sobre las propiedades de cada elemento como: diámetros, material, pérdidas, elevaciones y consumos en el periodo actual (2018) y para los años 2023 y 2030.
- Se tomaron muestras representativas de presiones en nodos estratégicos para cada sector con la ayuda de un manómetro facilitado por la empresa ETAPA EP. El muestreo recopilado se representa en tablas para cada sector, estos datos sirven para la evaluación y comparación de los resultados obtenidos en el software WaterGEMS.
- Se analizó y se comparó los resultados obtenidos en campo con los proporcionados por el software, y debido a que no existía una similitud se desarrolló la calibración del modelo para que estos resultados se aproximen. Con la ayuda de la herramienta *Darwin Calibrator* del software WaterGEMS se ajustaron los resultados de la modelación hidráulica a los resultados obtenidos en campo en régimen permanente. De esta manera se puede garantizar que el funcionamiento del modelo hidráulico es correcto y se presenta con las mismas características que la red de abastecimiento de agua potable real de cada sector.

- Se creó un nuevo escenario para analizar la curva de consumo de cada sector con una simulación en periodo extendido. Estas curvas representan el comportamiento de las demandas a lo largo de un día ordinario promedio en zona residencial, en las cuales se puede observar los consumos máximos en horas pico.

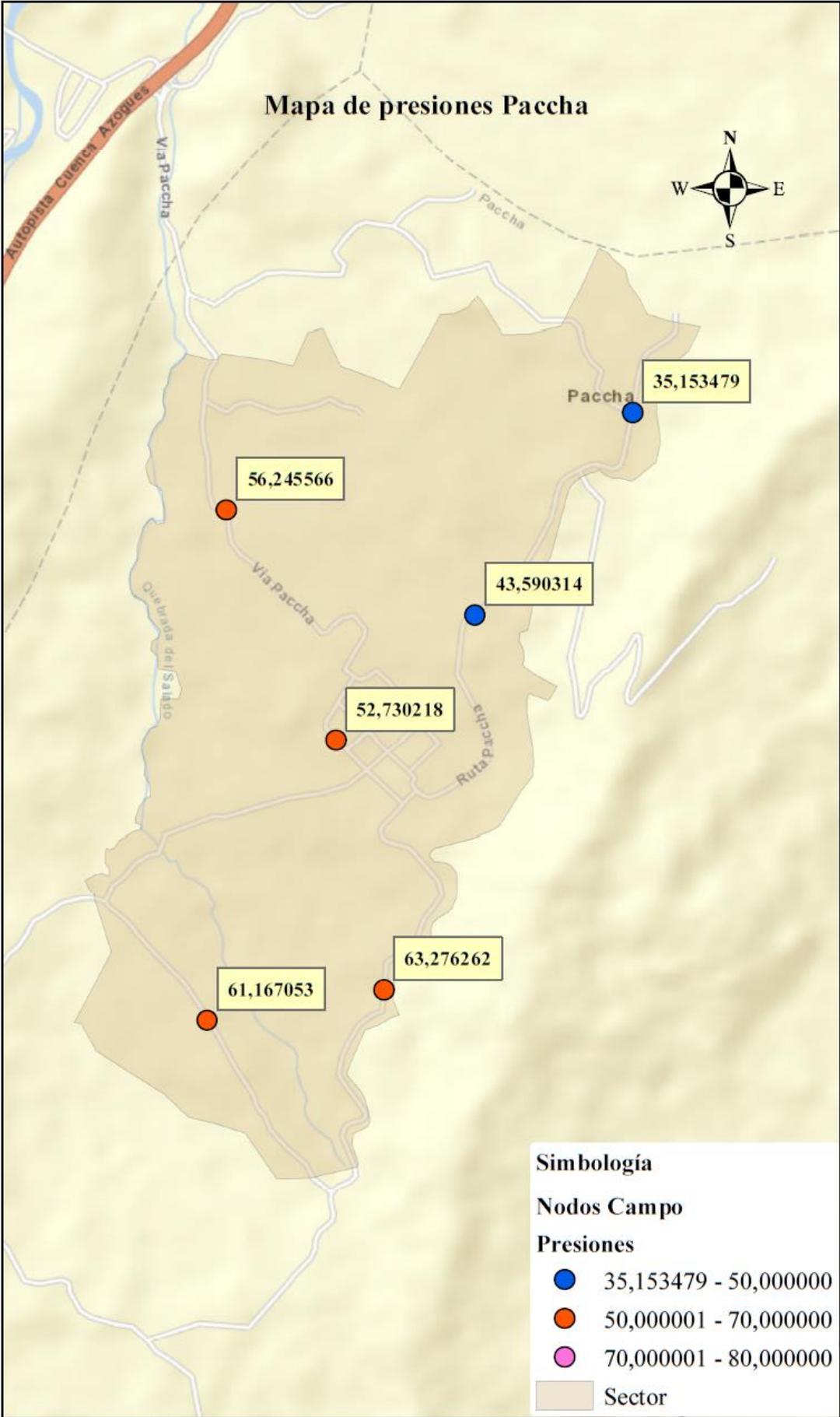
### **Recomendaciones**

- Se debería dar un mantenimiento periódico a las tuberías de las redes, debido a que sus rugosidades disminuyen al paso del tiempo, provocando un aumento de las velocidades, y en consecuencia variando los resultados obtenidos en los modelos hidráulicos.
- Se recomienda seguir actualizando los modelos en el caso que las redes de distribución de agua potable se sigan ampliando, para que de ésta manera se puedan tomar decisiones más certeras.
- Es importante obtener una lectura o muestras de datos reales sobre los caudales que recorren la red para que la calibración en régimen permanente y, sobre todo, la simulación en periodo extendido de los modelos sea óptima.

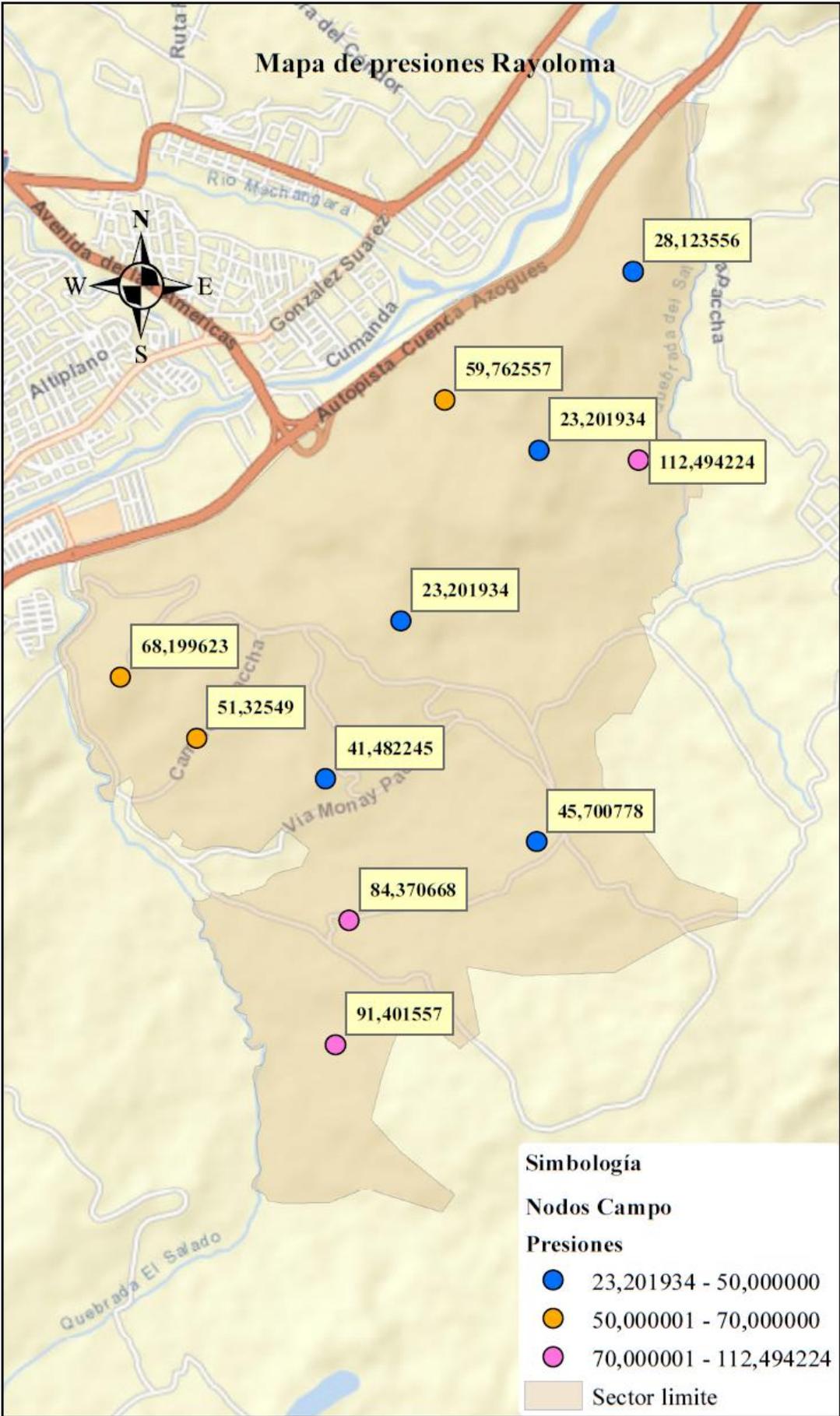
**ANEXOS**



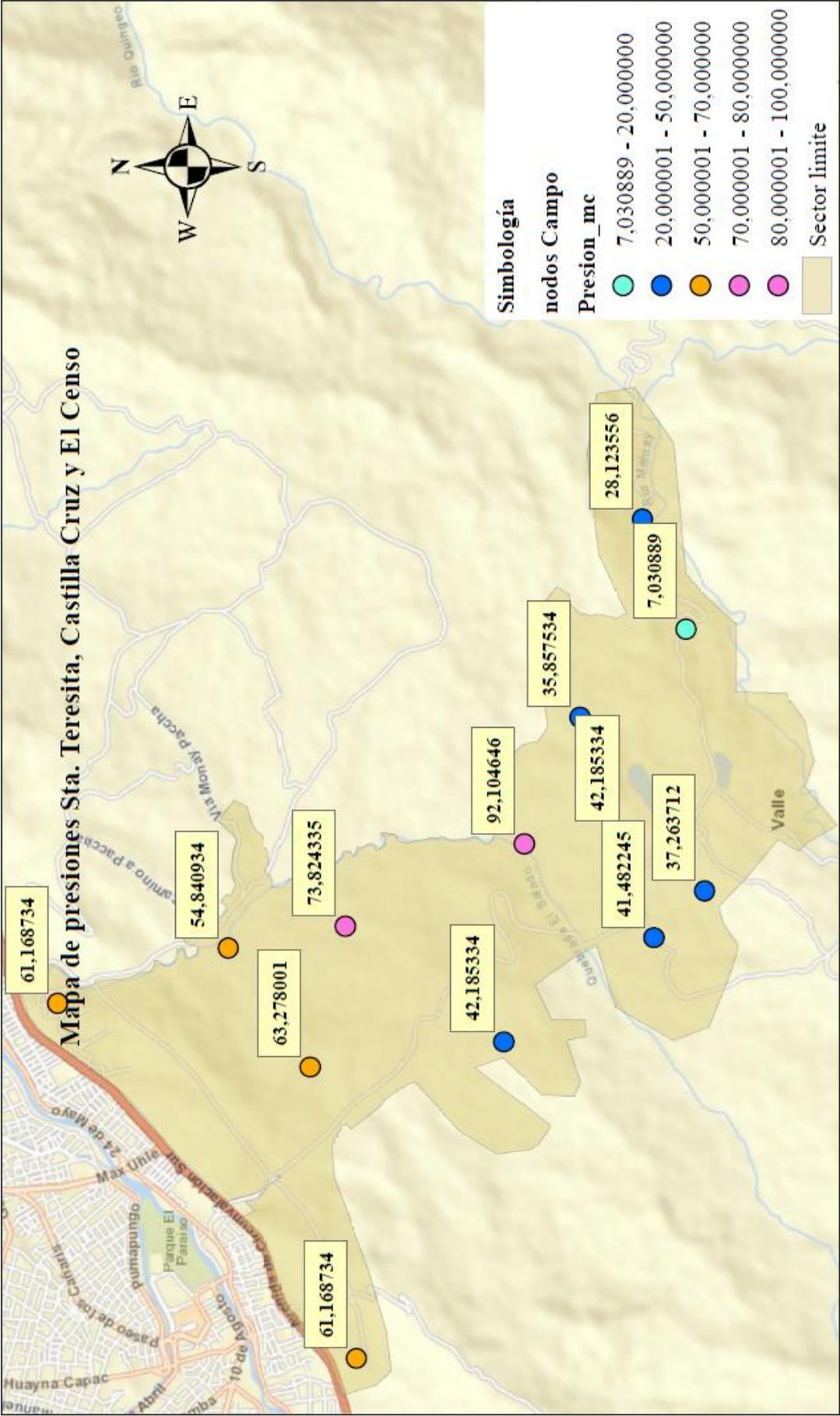
Anexo 0.1 Mapa de presiones Cochás



Anexo 0.2 Mapa de presiones Paccha



Anexo 0.3 Mapa de presiones Rayoloma



Anexo 0.4 Mapa de presiones Santa Teresita - Castilla Cruz - El Censo

**BIBLIOGRAFIA**

- Alexandra, G. L., & Gonzales Labanda, D. A. (2018). *Simulacion en periodo extendido cuasiestático de redes urbanas a superficie libre mediante SWMM 5.0 vE*. Obtenido de <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1363/3/Diana.pdf>
- Autodesk. (1 de Mayo de 2018). *Autodesk*. Obtenido de <http://help.autodesk.com/view/MAP/2018/ESP/?guid=GUID-B71F1470-C7DA-4D4A-A8AC-6F41C35A639E>
- Bentley Systems Incorporated. (1 de Mayo de 2018). *Bentley WaterGEMS*. Obtenido de <https://www.bentley.com/es/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watergems>
- Bentley WaterGEMS. (2013). *Manual WaterGEMS*.
- Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-601. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistema de aguas*. Quito: Secretaria del agua.
- Código Ecuatoriano de la Construcción CO 10.07-602. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistema de aguas*. Quito: Secretaria del agua.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Mexico: CONAGUA. Obtenido de <http://www.mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro12.pdf>
- Desktop, A. A. (1 de Mayo de 2018). *Esri ArcMap*. Obtenido de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/>
- ETAPA EP. (05 de 07 de 2018). *ETAPA EP*. Obtenido de <http://www.etapa.net.ec/Agua-potable/Potabilizacion/Informacion-General>
- Higueruela, F. R., & Sánchez, R. J. (2010). Herramientas SIG. *Virtual Archaeology Review*, 87- 91.
- León Loaiza, H., & Santacruz Palacios, P. (2017). *Modelación hidráulica de la red de agua potable del sistema rural "Chulco Soroche" del cantón Cuenca, provincia del Azuay*. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7558>
- Ordóñez Martínez, F. (2007). Ecuador: Análisis del sector agua potable y saneamiento. Caracas: Corporación Andina de Fomento.
- Otter, C. (2010). Autodesk. Obtenido de <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0a>
- Palacios Romero, P. (2015). *Modelacion hidraulica para la interconexion de los sistemas de distribucion de agua potable Tomebamba y Yanuncay*. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4883>
- V. Giles, R., Evett, J. B., & Liu, C. (1994). *Mecánica de fluidos e hidráulica*. España: McGraw-Hill.