



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Modelamiento hidráulico de redes de distribución de agua  
potable mediante sistema de información geográfica (Qgis) en  
Nueva Esperanza - Apurímac, 2021**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

Quispe Ccahuín, Ciro Michel (ORCID: 0000-0002-1196-4214)

**ASESOR:**

Mg. Sigüenza Abanto, Robert Wilfredo (ORCID: 0000-0001-8850-8463)

**LINEA DE INVESTIGACION**

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

LIMA – PERÚ

2021

## **Dedicatoria**

A Dios, por la salud, por guiarme,  
darme sabiduría y quien me acompaña  
en el andar de esta vida

Con todo mi cariño a mis padres Rómulo y  
Emiliana, que con su esfuerzo, sacrificio y  
ejemplo de lucha forjaron en mi formación  
profesional, a mis hermanos.

A Paola que desde su llegada mis  
días son más felices y por su aliento  
para realizar la presente tesis

## **Agradecimientos**

A la Universidad Cesar Vallejo, por abrirme sus puertas para permitirme desarrollar y guiarme en la elaboración de este presente Tesis

A mis amigos y familiares por su apoyo incondicional en la elaboración de la presente tesis

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstrac .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA .....	26
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	26
3.2 Variables y operacionalización .....	26
3.3 Población, muestra y muestreo .....	28
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	28
3.5 Procedimientos .....	29
3.6 Método de análisis de datos .....	31
3.7 Aspectos éticos .....	31
IV. RESULTADOS .....	32
V. DISCUSIONES.....	60
VI. CONCLUSIONES .....	67
VII. RECOMENDACIONES .....	69
REFERENCIAS .....	70
ANEXOS .....	76

## Índice de Tablas

Tabla 1. Comparativo entre modelos físicos y numéricos .....	16
Tabla 2. Evolución de las aplicaciones de los modelos .....	17
Tabla 3. Operacionalización de variables .....	27
Tabla 4. Ubicación de puntos de BMs.....	34
Tabla 5. Población y Viviendas en la Localidad de Nueva Esperanza, año 2020.....	39
Tabla 6. Cálculo de la tasa de crecimiento poblacional.....	40
Tabla 7. Población futura de la localidad.....	40
Tabla 8. Demanda de usuarios no domésticos .....	41
Tabla 9. Dotación Poblacional para la Región Natural Sierra .....	42
Tabla 10. Dotación de locales sociales y estatales .....	42
Tabla 11. Demanda proyectada de la localidad de Nueva Esperanza .....	44
Tabla 12. Demanda de caudal en los nodos de las redes .....	49
Tabla 13. Diámetros comerciales de tuberías PVC SAP C-10 .....	52
Tabla 14. Resultados del Modelamiento Hidráulico del Reservorio .....	54
Tabla 15. Resultados del Modelamiento Hidráulico de las tuberías .....	54
Tabla 16. Resultados del Modelamiento Hidráulico de los Nodos .....	57

## Índice de Figuras

Figura 1. Redes de distribución abierta .....	9
Figura 2. Redes de distribución abierta .....	9
Figura 3. Norma técnica vigente .....	10
Figura 4. Mapeo cartográfica ráster y vectorial de elementos geográficos .....	20
Figura 5. Ubicación de la localidad en estudio .....	32
Figura 6. Imagen satelital de la localidad en estudio .....	33
Figura 7. Fotografía del levantamiento topográfico .....	34
Figura 8. Puntos topográficos importados al QGIS .....	35
Figura 9. Red de triángulos irregulares (TIN).....	36
Figura 10. Curvas de nivel de área de estudio .....	37
Figura 11. Plano catastral del área en estudio .....	38
Figura 12. Resultados del censo 2007 y 2017 del INEI, a nivel del distrito de Santa María de Chicmo .....	39
Figura 13. Topología de la red de distribución de agua potable.....	46
Figura 14. Modelo de elevación digital (DEM) .....	47
Figura 15. Polígono de Thiessen para el área de influencia de cada nodo .....	48
Figura 16. Configuración de elementos vectoriales como elementos hidráulicos..	50
Figura 17. Asignación de las elevaciones a los nodos a partir del DEM .....	50
Figura 18. Asignación de caudales de consumo en los nodos .....	51
Figura 19. Asignación de diámetros comerciales y rugosidad de las tuberías .....	53
Figura 20. Resultados del modelamiento hidráulico del estudio .....	54
Figura 21. Histograma de Presiones en los Nodos de la Red de Distribución .....	61
Figura 22. Rango de Presiones en los Nodos .....	62
Figura 23. Histograma de velocidades en las tuberías de la red de distribución ..	63
Figura 24. Rango de velocidades en los tramos de la red de distribución. ....	64
Figura 25. Diámetros de las tuberías en los tramos de la red de distribución .....	65

## Resumen

El acceso de agua potable es uno de los problemas álgidos y se presenta con mayor incidencia en zonas rurales donde se encuentran las poblaciones más alejadas y excluidas del país, por eso el presente objetivo de la investigación es: “Efectuar el diseño hidráulico de las redes de distribución de agua potable mediante Sistema de información Geográfica (QGIS) en la localidad de Nueva Esperanza cumpliendo con la normatividad vigente”

La metodología usada para la presente investigación es de “tipo aplicada” con “Diseño no experimental; transversal descriptivo” y los parámetros que rigen el diseño es; Según la norma técnica R.M 192-2018 “Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural” propuesta por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento

La población de diseño fue de 1,853 habitantes con una tasa de crecimiento de 0%. Se ha identificado 523 viviendas habitadas, además la densidad de la localidad es de 3.54 hab/vivienda, se determinó 10 usuarios no domestico entre locales estatales y sociales, la dotación optada para la localidad de Nueva Esperanza fue de 100l/hab/día, ya que la localidad cuenta con sistema de desagüe en funcionamiento y por recomendación de funcionarios de ministerio de Vivienda.

La Topología de la red de distribución, está compuesta de 01 reservorio, 99 nodos y 136 tramos de la red, de los cuales 30 tramos son ramales y el resto redes cerradas, por lo que se considera una red de distribución mixta.

No presenta presiones por debajo de la mínima permisible (<5 mca) y solo un nodo se encuentra por encima de la presión máxima permisible (>50 mca), por lo que el 99% de las presiones de los nodos se encuentran dentro del rango permisible.

Se tiene que el 38% de los tramos de la red de distribución, presentan velocidades menores a las mínimas permisibles (0.3m/s), el 32% de los tramos de la red, presenta velocidades en el rango de 0.3 a 0.5 m/s, que aún siguen siendo pequeñas, pero son aceptables para sistemas de diseño en el ámbito Rural, solo el 30% de los tramos de la red, presenta velocidades dentro del rango óptimo.

**Palabras claves:** Modelamiento hidráulico, red de distribución, Qwáter.

## Abstract

Access to drinking water is one of the most critical problems and occurs with greater incidence in rural areas where the most remote and excluded populations of the country are found, for this reason the present objective of the research is: "Carry out the hydraulic design of the networks distribution of drinking water through the Geographic Information System (QGIS) in the town of Nueva Esperanza, complying with current regulations

The methodology used for the present investigation is of "applied type" with "Non-experimental design; descriptive transversal" and the parameters that govern the design is; According to the technical standard R.M 192-2018 "Technological options for sanitation systems in rural areas" proposed by the Ministry of Housing, Construction and Sanitation

The design population was 1,853 inhabitants with a growth rate of 0%.

523 inhabited dwellings have been identified, in addition the density of the town is 3.54 inhabitants / dwelling, 10 non-domestic users were determined between state and social premises, the endowment chosen for the town of Nueva Esperanza was 100l / inhab / day, already that the town has a functioning drainage system and on the recommendation of Ministry of Housing officials.

The topology of the distribution network is composed of 01 reservoir, 99 nodes and 136 sections of the network, of which 30 sections are branches and the rest are closed networks, so it is considered a mixed distribution network.

It does not present pressures below the minimum allowable (<5 mca) and only one node is above the maximum allowable pressure (> 50 mca), so that 99% of the pressures of the nodes are within the range permissible.

38% of the sections of the distribution network have speeds lower than the minimum allowable (0.3m / s), 32% of the sections of the network have speeds in the range of 0.3 to 0.5 m / s, which are still small, but are acceptable for rural design systems, only 30% of the sections of the network present speeds within the optimal range.

**Keywords:** Hydraulic modeling, distribution network, Qwáter



## I. INTRODUCCIÓN

El cuerpo humano tiene un 70% de agua en su composición, por ende, este servicio se considera de primera necesidad para el ser humano en sus actividades diarias, como hidratación, alimentación, limpieza, salubridad, etc.

El acceso a agua potable se considera de primera necesidad por los organismos internacionales, por las autoridades nacionales y locales, por ello el gobierno nacional tiene instituciones como el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS de aquí en adelante), ente encargado de evaluación y ejecución de proyectos de saneamiento tanto urbano y rural a nivel nacional, en tanto los gobiernos locales son los encargados de identificación, planificación y proyección de las proyectos de saneamiento tanto urbano y rural.

El suministro de servicio de agua para consumo humano, consiste en el transporte de agua desde una fuente hasta la distribución en las viviendas mediante tuberías, pasando por un proceso de tratamiento, bombeo y almacenamiento. El sistema de agua potable está compuesto de manera general por captación, conducción, bombeo, plantas de tratamiento de agua potable, reservorio, redes de distribución y conexiones domiciliarias. Muchas veces el bombeo depende de las condiciones topográficas del terreno, pudiendo no ser necesario si el terreno presenta pendiente favorable para el flujo del fluido, también las plantas de tratamiento son prescindibles, dependiendo del tipo de fuente de donde se capta el agua.

**A nivel internacional** el avance tecnológico de los sistemas de redes de agua potable y su cobertura, está incluida en el crecimiento del desarrollo económico de cada País. Los mejores sistemas de abastecimiento de agua lo poseen los Países Europeos como Suiza y Bélgica; y los Países menos beneficiados con este servicio son los Países del Continente Africano.

**A nivel nacional** el abastecimiento de agua potable no es satisfactoria, y esta polarizada tanto como en el ámbito rural, como en el ámbito urbano. Una publicación del Portal Web de RPP Noticias, el 22 de marzo del 2018, presenta el “*Título: El agua es un bien escaso que el Perú no sabe administrar*”: anteriormente de sufrir los eventos tan desastrosos del Fenómeno de El Niño Costero en nuestro país desde inicios del año 2018, alrededor de ocho millones de peruanos tienen déficit

de acceso a los servicios de saneamiento básico, es decir agua potable y desagüe. Esta cifra que proporciona la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento considera el nivel de brecha de acceso de personas han experimentado un desarrollo económico en los últimos 10 años, empero no han visto cubiertas las necesidades básicas de saneamiento.

En Nueva Esperanza, el sistema de agua potable actual, data de los principios de este siglo (año 2000), donde se ejecutó el proyecto de saneamiento básico por el municipio distrital con el apoyo de ONGs, FONCODES y la población local, quienes aportaron con mano de obra y con la mínima y casi nula dirección técnica y planteamientos hidráulicos antitécnicos.

La distribución de agua potable en la localidad de Nueva Esperanza, consta de redes de distribución cerrada por las calles y jirones, también tiene ramales hacia viviendas alejadas de las calles principales.

La problemática que radica en las redes de distribución, es la baja cobertura del servicio en horas punta, esto se debe a baja presiones en algunos puntos, por haberse instalado sin los mínimos criterios técnicos, por lo que con las nuevas normas técnicas del MVCS, el único ente encargado de promover los sistemas de saneamiento a nivel nacional, se consideran antitécnicas las características hidráulicas de dicho servicio.

En el año 2019, el municipio de Chicmo, distrito al que pertenece la localidad de Nueva Esperanza, realizó el estudio de preinversión a nivel de Ficha Técnica mediante contratación de una consultoría para la elaboración de dicho estudio denominado “mejoramiento del sistema de agua potable” en dicha zona, dicho proyecto a la fecha se encuentra a nivel de preinversión, sin avizorarse la ejecución de la misma.

Según los párrafos precedentes, el presente trabajo se basa en la recolección de datos de la población y vivienda (censos del 2007, 2017 y padrones actuales), planos catastrales del lugar (si es que existieran), elaboración y/o actualización

catastral, levantamiento topográfico para las redes de distribución, aforo de fuente disponible y teniendo los datos anteriores, proceder a simular hidráulicamente las redes de distribución de agua potable en la localidad de Nueva Esperanza cumpliendo los criterios técnicos de MVCS en lo referente a la norma técnica actual: RM 192-2018 -VIVIVENDA “opciones tecnológicas para el abastecimiento de agua potable en el ámbito rural”.

En el mercado existen muchos softwares para el modelamiento y diseño de las redes de distribución, la mayoría de ellas son comerciales, por ello la adquisición de la licencia es costosa y muchas veces ello dificulta el acceso a dichos softwares en las provincias del interior del país por su elevado costo, en el presente informe de tesis, el modelamiento de las redes de distribución de agua potable en la localidad de Nueva Esperanza, se usará un programa de código libre y gratuito que es el **QGIS** y su complemento **QWATER** para el modelamiento hidráulico.

Debido a los anteriores, se determina el siguiente **enunciado del problema de Investigación**: ¿Se podrá generar un modelo de simulación hidráulica de las redes de distribución de agua potable mediante el empleo de Sistema de Información Geográfica (QGIS) en la localidad de Nueva Esperanza cumpliendo con la normatividad vigente?, como problemas específicos se tiene:

- **PE1:** ¿Es posible elaborar la cartografía y la topología de la red de distribución de agua potable mediante sistema de información geográfica (QGIS) en la localidad de Nueva Esperanza?
- **PE2:** ¿Se podrá Determinar el planteamiento y modelamiento hidráulico de las redes de distribución de agua potable con el empleo de sistema de información geográfica (QGIS) y su complemento QWATER en la localidad de Nueva Esperanza, de acuerdo a la normatividad Vigente?
- **PE3:** ¿Cumplirá el modelamiento hidráulico de las redes de distribución de agua potable de la localidad de Nueva Esperanza con los parámetros de la normatividad vigente?

**La justificación** de esta tesis se basa en realizar un modelo de simulación hidráulica de redes de agua potable, Con un software libre de código abierto, con el propósito de que los pobladores del CC.PP. de Nueva Esperanza puedan contar con suministro de agua potable en cada vivienda con adecuada presión y continuidad.

En nuestro país la cobertura de abastecimiento de agua potable han crecido significativamente, y en las zonas rurales la cobertura tiene un déficit particular, por ello los gobiernos de diferentes niveles cada día tratan de cerrar brechas de agua potable ya que este servicio es de primera necesidad, además la presente investigación consiste en el uso de un software libre, ya que casi la totalidad de los software de diseño de sistemas de agua potable son de Licencia comercial, el cual muchas veces imposibilita la adquisición de licencias originales para el diseño de redes de agua potable por ser costosas.

Otro problema latente en la localidad de Nueva Esperanza es que las redes de distribución de agua potable existente, ya cumplió su vida útil, sobrepasando el periodo de diseño para este tipo de proyectos, los parámetros con que fue planteado el sistema existente, son antitécnicos a comparación de los parámetros de la norma vigente, por lo que se puede observar problemas de baja presión y continuidad en horas punta en algunas zonas de la localidad en estudio.

La presente investigación tiene como **objetivo general**: Efectuar el diseño hidráulico de las redes de distribución de agua potable mediante Sistema de información Geográfica (QGIS) en la localidad de Nueva Esperanza cumpliendo con la normatividad vigente.

Los principales **objetivos específicos** son: Determinar la cartografía y la topología de las redes de distribución de agua potable mediante sistema de información geográfica (QGIS) en la Localidad de Nueva Esperanza, Determinar el planteamiento y diseño hidráulico de las redes de distribución de agua potable con el empleo de sistema de información geográfica (QGIS) y su complemento QWATER en la localidad de Nueva Esperanza, de acuerdo a la normatividad vigente y Analizar el diseño hidráulico de las redes de distribución de agua potable de la localidad de Nueva Esperanza con los parámetros técnicos y normativos vigentes.

## II. MARCO TEÓRICO

Respecto al tema de investigación se tiene como antecedentes, algunos estudios a nivel internacional y nacional, los cuales se describe a continuación.

García, J (2019) Según su estudio titulado “Proyecto básico de la infraestructura de redes de abastecimiento y saneamiento para un terreno urbanizable en Cartagena” (Colombia), cuyo objetivo principal del trabajo fue realizar el planteamiento de la infraestructura hidráulica para el área en estudio. El estudio contempla el planeamiento, proyección, diseño, dimensionamiento y simulación del sistema propuesto, en donde lo proyectado se conectará a los puntos de conexión de las redes municipales de abastecimiento y saneamiento ya existentes en las proximidades de la zona en estudio. La metodología para el diseño de este estudio, en primer lugar, se dispuso de la red existente en formato AutoCAD para poder así posteriormente trabajar sobre ella para realizar las conexiones pertinentes. Por este motivo en primer paso se realizó traspasar la información sobre la red existente al software. Para ello se utilizó el estudio previo realizado para seleccionar las conducciones más idóneas de acuerdo a su sección. El autor llegó a la siguiente conclusión, que para el caso de la red de abastecimiento de agua potable uno de los parámetros fundamentales de estudio es la presión en la red pues para prestar servicio correctamente debe encontrar entre dos límites, uno superior y otro inferior, que garanticen el correcto servicio y la seguridad. Además de la presión otro parámetro importante es la velocidad en la red y que se ha estudiado mediante gráficas.

Mena Céspedes, MJ. (2016) cuya investigación tiene por título “Diseño de la red de distribución de agua potable de la parroquia el Rosario del Cantón san Pedro de Pelileo, Provincia de Tungurahua”, (Ecuador), tuvo como objetivo el modelo de diseño de abastecimiento mediante redes de distribución de agua en el área en estudio. El planteamiento general de su estudio engloba la propuesta de diseño de una red de distribución a gravedad, aprovechando para esto la topografía del área en estudio y tomando en cuenta la topografía del área, la densidad poblacional actual y demás características propias de la zona como la dotación, etc.

Como conclusión el autor, presenta una propuesta de diseño integral de la red de distribución de agua, partiendo el inicio desde la cámara repartidora de caudales municipal más cercana existente hasta las viviendas beneficiadas, con una longitud total de 4.03km de línea de conducción dimensionado para el funcionamiento durante toda la vida útil de la infraestructura, Teniendo en cuenta los parámetros y recomendaciones de la norma CPE INEN 005 9.1 y 9.2 donde se observa que sus resultados se encuentran dentro de los parámetros y criterios presentados en la norma actual, además el sistema ha sido sectorizado para el manejo adecuado de las operaciones y mantenimiento sin perjudicar todo el área cubierta hidráulicamente.

Tejeda Núñez, CE (2018) en su investigación titulado “Diseño hidráulico del sistema de suministro para el sistema de abastecimiento de agua potable para el caserío de redención Nevati - Oxapampa” cuyo objetivo del estudio fue realizar la propuesta de diseño de abastecimiento de agua potable, que una vez ejecutado eleve el nivel de vida de los beneficiarios del caserío de Redención Nevati, Provincia de Oxapampa, Departamento de Pasco.

La metodología del estudio, consistió en que los diseños de las estructuras hidráulicas están completamente relacionados, ya que los niveles de salida de una dependen de las condiciones iniciales de la otra, a continuación, se detalla la metodología para el adecuado diseño:

1. Diseño de la captación, identificando la cota de entrada y salida, asimismo sus dimensiones y capacidad para cubrir las necesidades del proyecto.
2. Diseño de la conducción, teniendo en cuenta la cota de salida de la captación y la probable ubicación de la cisterna de bombeo.
3. Diseño de la cisterna, considerando el caudal de ingreso, el caudal de bombeo y el tiempo de operación y descanso del sistema.
4. La propuesta de diseño de la línea de impulsión, verificando la cota de salida y llegada para determinar la potencia necesaria del equipo de bombeo y el diámetro adecuado de la línea.

La conclusión que llegó es autor fue el dimensionamiento de todos los componentes del servicio.

Segura Caetano, L (2019) en su investigación titulado “Diseño hidráulico del sistema de abastecimiento de agua potable de la localidad de Chirchir, distrito de Condebamba-Cajamarca” cuyo objetivo del estudio fue proponer un planteamiento hidráulico del servicio de agua potable en la zona en estudio. La problemática del estudio, consiste en que el servicio actual no tiene cobertura sobre todas las viviendas de la localidad ya que este solo abastece a un porcentaje de la totalidad de la población y que en los últimos años la población se viene expandiendo y no así el servicio de agua que en la actualidad es limitado, insuficiente y antitécnico, presenta sedimentos en las redes, por lo que es necesario el planteamiento general de las redes de agua potable cumpliendo con los estándares actuales y de esta manera cubrir la totalidad de la población demandante. Se obtuvo los parámetros hidráulicos después de haber realizado el cálculo hidráulico mediante el programa Wáter cad, donde se observa la necesidad de implementar el modelo con CRPs, y se verifica las velocidades y presiones en el modelo que se encuentren dentro de los parámetros permisibles de acuerdo a la normativa vigente.

Quesquén Bances, JC (2016) en su investigación titulado “Mejoramiento de un sistema de abastecimiento de agua potable de la localidad de Piyay, distrito de Pataypampa, provincia de Grau – Región Apurímac” cuyo objetivo de investigación fue proponer un diseño para el sistema de abastecimiento de agua potable en dicha localidad. La conclusión que llegó es autor fue, debido a la accidentada topografía de la zona esto a su vez genera el aumento de la presión y este a su vez el incremento de la carga hidráulica, con la finalidad de evitar rotura de tuberías, se ha planteado cámaras de rompedor para mitigar dichas cargas.

### **Redes de distribución de agua**

En los conceptos relacionadas al tema en estudio: Aguirre, F (2015) define que las redes de distribución de agua “Es una agrupación de tuberías y accesorios que

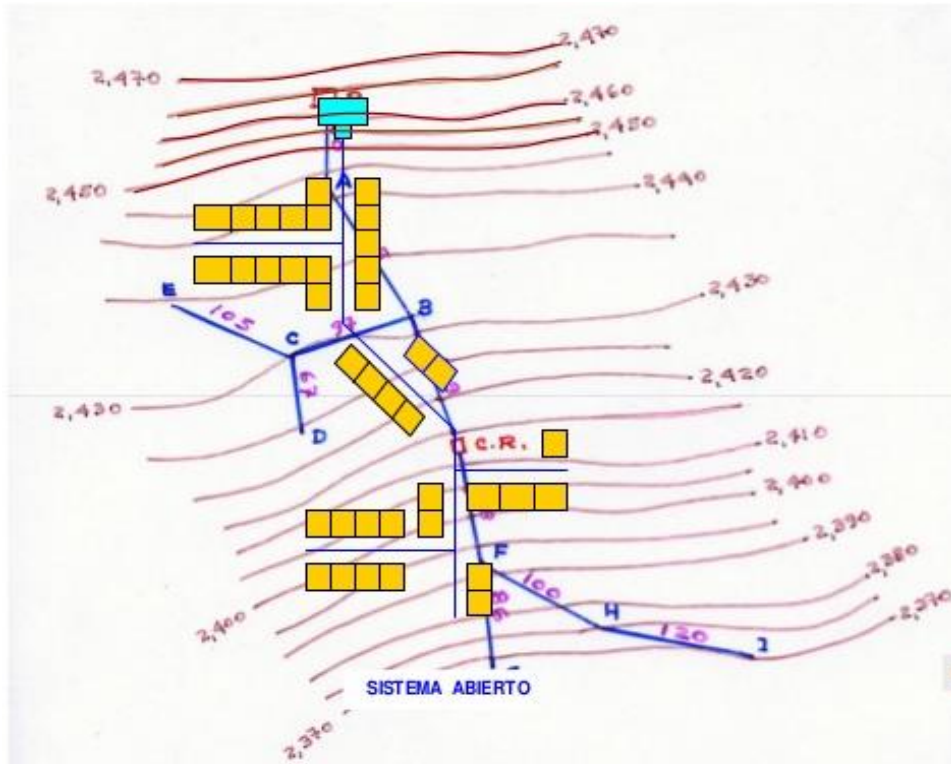
permiten la distribución de agua potable desde el reservorio hasta los puntos de consumo. La red deberá garantizar la disponibilidad del recurso hídrico en cantidad, calidad y presión óptima durante toda su vida útil”.

La Clasificación con respecto a las redes que componen un sistema de distribución de agua potable, Rocha Felices (2007), comenta que es posible clasificar de distintas maneras de acuerdo al tipo de planteamiento que se requiera realizar en cada caso. El autor identifica a estas en dos grupos claramente diferenciados en funcionalidad, estas son las redes abiertas o también llamado las redes ramificadas y las redes cerradas comúnmente llamadas redes malladas: las redes ramificadas presentan un aspecto arbóreo, puesto que presenta este aspecto desde la fuente (reservorio) hasta los puntos de demanda. Mientras las redes cerradas tienen un interfaz reticular con circuitos cerrados de tuberías, hidráulicamente estas redes permiten determinar los caudales que fluyen por las tuberías a partir de los nodos de consumo de la red. (p. 54)

Redes abiertas, Según Saldarriaga (2007) “se caracterizan por no presentar circuito cerrado alguna en el sistema, Los casos tipos son las redes matrices o lineales en sistemas de distribución de agua potable o son los típicos casos en planteamientos de agua potable en zonas rurales por estar disperso las unidades de demanda de dicho recurso” (p.301).

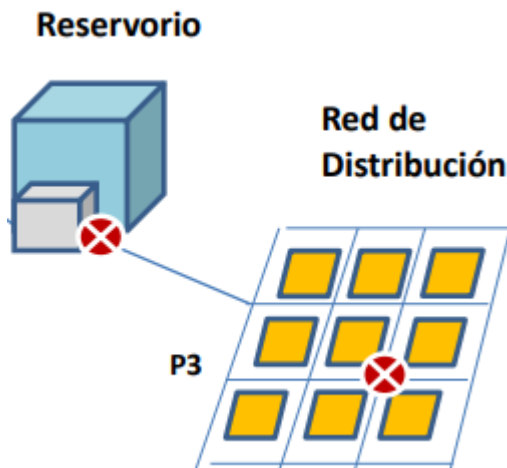
Redes cerradas, Según Saldarriaga (2007), define que se llaman también como sistemas con ciclos cerrados y que tienen una particularidad propia que es tener al menos un de circuito cerrado (loop, en inglés) en el sistema. El en el sistema siempre se cumplen un sistema cíclico de tuberías y que un punto o zona hidráulicamente cubierto por el sistema puede ser alcanzado simultáneamente por varias tuberías, incrementando de esta manera la fiabilidad del abastecimiento. Que es de este tipo de red que normalmente está conformada el sistema de distribución de agua potable de una ciudad. (p.302).





**Figura 1.** Redes de Distribución Abierta

Nota. Extraído de la pagina <https://es.slideshare.net/hernanhmorales/apuntes-sobre-la-red-de-distribucion-de-agua>



**Figura 2.** Redes de Distribución Abierta

Nota. Adaptado del “programa de incentivos a la mejora de la gestión municipal del MVCS”

La red mixta Según Valenzuela (2019), “Esta red viene a ser la combinación de redes abiertas y cerradas en su estructura” (p. 13)

Los criterios de planteamiento de abastecimiento de agua potable, según la norma técnica actual: R.M 192-2018 “Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural” propuesta por el MVCS, establece los criterios técnicos a tomar en cuenta en el proceso de diseño de proyectos de agua potable y saneamiento básico en el ámbito rural al fin de hacerlos más sustentables y eficientes. Es por ello que para la presente tesis la usaremos indicando los parámetros necesarios con datos propios considerando secuencialmente respetando cada uno de lo establecido.



**Figura 3.** Norma Técnica Vigente

*Nota.* Extraído de la RM 192 – 2018 – Ministerio de Vivienda.

Los criterios de diseño de las redes de distribución de agua, según la norma técnica R.M 192-2018 “Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural” propuesta por el MVSC, son las que a continuación se definen:

El caudal mínimo para el diseño de las redes de distribución, es el caudal máximo horario (Qmh).

La velocidad mínima de diseño, de ninguna manera podrá ser inferior a 0,30 m/s, siendo recomendable un trecho de velocidad de 0,5 – 1,00 m/s, además será de 3 m/s la velocidad máxima admisible.

El rango de presión mínima de cobertura en cualquier punto de la red y punto de conexión de agua no será menor de 5 - 8 m.c.a. y de 40 - 50 m.c.a será el límite superior de la presión estática de servicio.

Los diámetros deberán presentar las siguientes características:

- El diámetro adecuado será aquel que asegure la cobertura del caudal y optima presión en cualquier zona de cobertura hidráulica.
- Diámetro de 25 mm (1”), será el mínimo para tuberías cíclicas y para redes arbóreas el mínimo será de 20 mm (¾”).

Según MVCS en su norma técnica actual, para el ámbito rural propone los siguientes criterios para el diseño:

### **Redes malladas.**

Para determinar los flujos en las redes cíclicas, será el método de la densidad población el criterio a aplicar, dicho método consiste en que la demanda total de agua se divide entre todos los nodos “i” de consumo demandantes proyectados

El caudal en cualquier nodo del sistema se determina así:

$$Q_i = Q_p * P_i, \dots\dots\dots(1.1)$$

Se tiene:

Qi : el caudal demandado en cualquier nodo “i” en l/s.

Qp : el caudal de demanda unitario por población en l/s-hab.

$$Q_p = \frac{Q_t}{P_t} \dots\dots\dots(1.2)$$

Se tiene:

Qt : Caudal de diseño (Qmh) en l/s.

Pt : Cantidad de población de diseño proyectado.

Pi : Cantidad de población dentro del área de influencia del nodo "i".

Las ecuaciones fundamentales en las redes de distribución de agua, están basadas en los principios de conservación de masa y energía. No obstante, es necesario conocer las hipótesis que se tomaron en cuenta para la deducción de estas ecuaciones las cuales consideran, por ejemplo, que tanto el material, la sección transversal y espesor son uniformes a lo largo de la misma. (Cabera, García-Serra y Martínez, 1996).

**La ecuación de conservación de la masa.**

Esta ecuación describe la derivada de la masa con respecto al tiempo dentro de un volumen de control conocido. Según este principio la masa del fluido que entra a la tubería es igual a la masa que sale. Existen 2 métodos para analizarlo: diferencial e integral. El primero ayuda a calcular valores de cualquier propiedad en un punto del sistema como la velocidad local del fluido; mientras que con el segundo se puede calcular valores medios de las propiedades, por ejemplo, la velocidad media en una sección.

$$\sum_1^{NT} Qi - U - \frac{dS}{dt} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

Qi = Caudal de agua que entra al nodo [L<sup>3</sup>/T]

U = Agua usada en el nodo [L<sup>3</sup>/T]

$\frac{dS}{dt}$  = Cambio en el almacenamiento [L<sup>3</sup>/T]

La ecuación es aplicada a todos los nodos y a los elementos de almacenaje como son los tanques en la red.

### Ecuación de energía

La ecuación que evoca a este principio es la ecuación de Bernoulli. En esta se puede apreciar un comportamiento tal que la presión del líquido desciende al darse un estrechamiento en la vía de flujo, el cual ocasiona que haya un incremento en la energía cinética a causa de la energía de presión. La ecuación se aplica entre 2 puntos y también se considera pérdidas producidas en el trayecto como es la pérdida por fricción.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 * V_1^2}{2 * g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 * V_2^2}{2 * g} + Z_2 + k_L \dots \dots \dots (3)$$

Dónde:

- $\gamma$  : Peso específico del fluido en KN/m<sup>3</sup>
- $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  : Factores de corrección de la energía cinética
- $g$  : Aceleración de la gravedad  $(9.81 \frac{m}{s^2})$
- $Z_1$  y  $Z_2$  : Cota de elevación sobre el plano de referencia (m)
- $k_L$  : Pérdida de carga (m)

### Ecuación de pérdida de carga

El líquido que fluye a través de una tubería genera pérdidas de energía por fricción que suele expresarse en energía por unidad de peso de fluido circulante, a este efecto se le denomina “pérdida de carga” cuya dimensión es la longitud. Las más comunes son las pérdidas lineales que se dan cuando el fluido interactúa con la superficie que lo contiene. Existen distintas ecuaciones para determinar la pérdida de carga, siendo las más conocidas la ecuación de Hazen Williams, Darcy-Weisbach y Chezy- Manning. La fórmula de Darcy-Weisbach es aplicable a cualquier tipo de fluido (viscosidad, temperatura, etc.) y para distintos regímenes de flujo, sin embargo, no es muy usada debido a su complejidad para el cálculo de sus factores de fricción.

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (4.1)$$

donde el f, según Colebrook White para un régimen turbulento rugoso:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{\frac{\epsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right] \dots\dots\dots (4.2)$$

Por otra parte, es la fórmula de Hazen-Williams la más utilizada para diseño de redes a presión debido a ser más simple su cálculo que la de Darcy. Por ser una fórmula empírica presenta limitaciones, las cuales son respecto al rango de valores de rugosidad, diámetro, entre otros. Respecto a los valores de rugosidad, por lo general, se utiliza el valor de 100 en condiciones normales, 50 para conducciones corroídas y 150 para tuberías lisas como plástico o vidrio. (Corcho Romero & Duque Serna, 2005).

$$h_f = 10.674 * L * D^{-4.871} * \left( \frac{Q}{C_{HW}} \right)^{1.852} \dots\dots\dots (4.3)$$

Por último, la ecuación de Chezy- Manning, es la ecuación por excelencia en flujos con superficie libre (canales, tuberías llenas de gran diámetro), depende del coeficiente de rugosidad y el régimen de trabajo.

$$h_f = 10.294 * L * n^2 * D^{-5.33} * Q^2 \dots\dots\dots (4.4)$$

### **Comportamiento Hidráulico**

Según (Comisión Nacional del Agua, 2016), La conducción de un líquido de un punto a otro se permite por medio de una tubería. El nodo es el punto de conexión entre tuberías además pudiendo ser el punto de extracción para consumo. En el análisis de redes de tuberías, la consideración que se le otorga a una tubería es que es un conducto cerrado de longitud conocida donde las secciones transversales en sus extremos se consideran como un nodo. Para conocer el comportamiento hidráulico de una red de distribución con diámetro conocido, la longitud y coeficientes de fricción; es necesario determinar las cargas de presión en los nodos y velocidades en las tuberías por donde fluye el agua. (P.74)

### **Modelos de simulación de redes hidráulicas**

Un modelo es una representación abstracta, física de sistemas o estructuras con el fin de analizar, simular, describir y explorar fenómenos o procesos. Habiendo dicho esto, se puede decir que un modelo hidráulico es la representación de una

estructura hidráulica con el fin de predecir el comportamiento del fluido que circula por el sistema. Por este motivo, se recurre a modelos matemáticos los cuales en base a hipótesis y relaciones de variables pueden describir fenómenos físicos, los cuales en la mayoría de los casos no se pueden resolver mediante ecuaciones, sino por medio de aproximaciones computacionales. (Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2002). La simulación de los sistemas de distribución de agua se conoce como SDA, la cual consiste en ajustar los parámetros físicos de los elementos y la demanda nodal. (Walski, 2003).

Los modelos de simulación se clasifican en 2 grupos:

- **Modelo físico:**

según Ríos (2014), Es la representación física de un fenómeno, con la finalidad de observar, analizar y controlarlos el comportamiento que ocurriría una vez emplazado en el terreno, de esta manera darle validez al planteamiento y proponer cambios y rediseños para el mejor funcionamiento en el futuro. (p.37)

- **Modelo matemático:**

El autor Ramírez (2016) lo define como: Un proceso donde se puede simular los comportamientos de un fenómeno mediante el uso de fórmulas matemáticas para representar la relación de las distintas variables, parámetros y restricciones de lo que se quiere contemplar sistema donde todos los comportamientos u opciones se pueden simular por medio de ecuaciones matemáticas cuyas variables están previamente establecidas de acuerdo a lo que se quiere contemplar. Dependiendo del objetivo buscado y del diseño del mismo modelo pueden servir para predecir el valor de las variables en el futuro.

**Tabla 1**

*Comparativo entre Modelos Físicos y Numéricos*

<b>Modelo Físico</b>	<b>Modelo Numérico</b>
Dimensión del modelo (espacio en el laboratorio)	Recursos computacionales
Caudal del flujo	Rapidez del procedimiento
Carga hidráulica (disponibilidad de carga)	Organización de formulas
Leyes de paralelismo	hipótesis de turbulencias
Escala Mínima del modelo	En ecuación de simplificación: <ul style="list-style-type: none"><li>- Precisión de relaciones supuestas</li><li>- Obtención de los coeficientes</li></ul>
Metodología de tamaño y obtención de datos	Estabilidad Numérica, convergencia de cálculo Numérico.

*Nota.* Tomado de "Modelación hidráulica", por Biblioteca Virtual UDEP, 2017.

### **Modelación Hidráulica**

(Córdoba y Zelaya 2017), comenta que el término Modelo de Red Hidráulica representa matemáticamente la construcción virtual de un sistema real de suministro de agua, para de esta manera reproducir, preveer el comportamiento de la misma para poder realizar simulaciones y corregir y definir las soluciones optimas.

La modelación hidráulica de un sistema de agua potable se realiza con el propósito de observar, prevenir y definir el comportamiento optimo identificando el comportamiento en diferentes condiciones en dimensión y en tiempo y de esta manera tomar decisiones correctas para el adecuado funcionamiento del sistema.

Los modelos matemáticos que representan los fenómenos físicos que ocurren en un sistema de distribución de agua, datan del año 1936 propuesto por Hardy Cross, desde entonces los modelos matemáticos empleados para representar este



fenómeno físico, vienen evolucionando desde modelos empíricos propuestos por Cross que se puede desarrollar manualmente hasta los actuales y modernos modelos computacionales que se acercan cada vez con precisión a la representación virtual de las redes de distribución de agua potable.

**Tabla 2**  
*Evolución de las Aplicaciones de los Modelos*

1930s	1960s	1970s	1980s	1990s	
Análisis de redes manual (Hardy Cross)	Inicio de análisis de redes por ordenador	Disponibilidad de modelos hidráulicos para ordenadores de poca capacidad	Aparición de modelos estáticos de flujos de agua	Aparición de modelos dinámicos de flujos de agua en periodo extendido	Sistemas integrados de modelación y topografía: capacidad de monitoreo de contaminantes en tiempo y espacio

*Nota.* Cuadro tomado de Córdoba y Zelaya (2017)

Actualmente se cuenta con modelos de simulación altamente completos y eficientes de interface amigable y de fácil manejo que no necesita que el usuario tenga una alta capacitación, solo requiere tener conocimientos básicos para analizar, obtener las diferentes características hidráulicas del sistema de distribución de agua que se requiere conocer el comportamiento.

En los últimos años, también se han desarrollado modelos de simulación especializados de acuerdo al objetivo que se quiere conocer; los cuales se pueden clasificar como de planificación, operacionales y de diseño.

### **Softwares de modelación hidráulica**

En cuanto a los Softwares de modelación hidráulica, existen distintos softwares de modelamiento hidráulico disponibles, con características y bondades determinadas que ayudan a facilitar la labor del usuario. Entre estos podemos mencionar:

- GISRED 2.0, fue elaborada por el grupo REDSHIP de la Universidad Politécnica de Valencia, España. Se concibió como una extensión de ArcView GIS 3.2. El objetivo de esta aplicación es modelamiento de redes hidráulicas directamente de un GIS. Martínez y Bartolin (2015) señalan que este software se diferencia de otros porque tiene la capacidad de unir dos herramientas de información geográfica, además de la simulación y optimización hidráulica por lo cual éste se puede usar cuando se quiera modelar y tomar decisiones sobre una red de distribución.
- KYPIPE 2000, diseñado para cálculos estáticos y dinámicos (EPS) de redes hidráulicas. Se puede emplear para solucionar problemas de calibración, diseño y operación. KYPIPE realiza los cálculos usando la ecuación de Hazen-Williams, aunque es posible incorporar la metodología de Darcy-Weisbach y Colebrook White. Además, la información puede ser editada, la entrada de datos puede ser grafica mediante PIPE2000 map.
- EPANET, ofrece una versión matemática de elementos físicos en el sistema de distribución de agua. Según Saldarriaga (2007), el análisis hidráulico se puede consumir mediante el uso de ecuaciones empíricas como de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chezy-Manning con las cuales se obtiene la perdida de carga por fricción. EPANET utiliza el algoritmo gradiente para resolver matemáticamente la red de distribución. Algunas bondades del programa son que facilita cálculos iterativos, evalúa comportamientos de consumo y costo de energía, controla la calidad de agua, entre otros.
- WATERCAD, diseñado por la empresa Bentley, admite el análisis hidráulico de redes de agua (aunque puede ser cualquier fluido newtoniano). Además, considera distintos parámetros operativos de elementos del sistema, faculta ampliar las capacidades a temas de gestión de plazos, estimación de costos, calibraciones, 21 optimizaciones, integración con sistemas SCADA, compatibilidad con varias plataformas de datos, entre otros, ayudando así al aumento de la productividad.

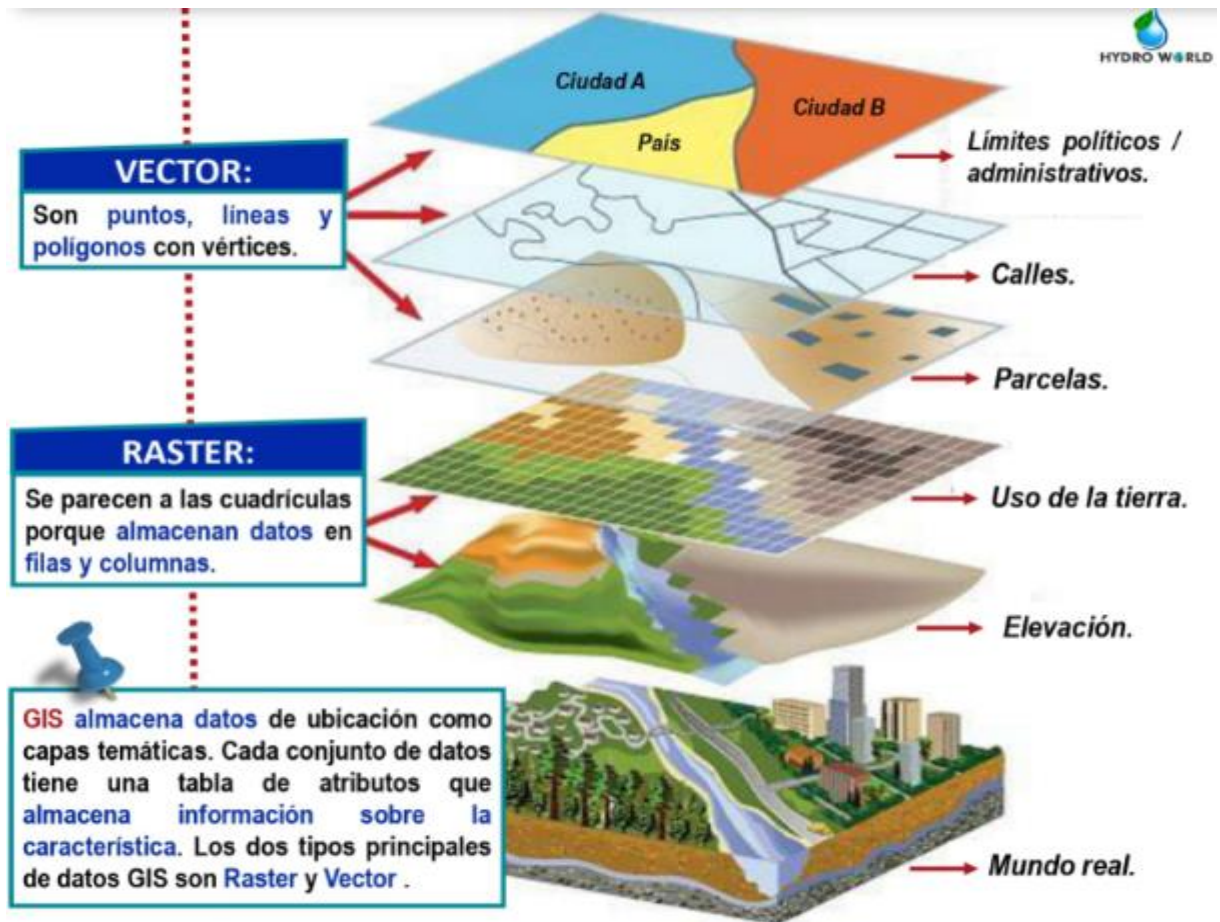
WATERCAD para los cálculos de valores utiliza el método gradiente, lo cual le permite hacer operaciones iterativas en breves lapsos de tiempo.

### **Sistema de información geográfica**

Un sistema de información geográfica (SIG), también habitualmente citado como GIS por las siglas de su nombre en inglés Geographical Information System, es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

La tecnología de los SIG puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, la gestión de activos, la arqueología, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, el marketing, la logística por nombrar unos pocos. Por ejemplo, un SIG podría permitir a los grupos de emergencia calculando fácilmente los tiempos de respuesta en caso de un desastre natural, o encontrar los humedales que necesitan protección contra la contaminación, o pueden ser utilizados por una empresa para ubicar un nuevo negocio y aprovechar las ventajas de una zona de mercado con escasa competencia. (IGN, 2018)



**Figura 4.** Mapeo Cartográfica ráster y Vectorial de Elementos Geográficos

*Nota.* Adaptacion tomado de hidro world

**El Software QGIS**, QGIS (anteriormente llamado también Quantum GIS) es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de software libre y de código abierto para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android.<sup>2</sup> Fue uno de los primeros ocho proyectos de la Fundación OSGeo y en 2008 oficialmente superó la fase de incubación. Permite manejar formatos raster y vectoriales a través de la biblioteca GDAL (GADL/OGR), así como bases de datos. Algunas de sus características son:

- Soporte para la extensión espacial de PostgreSQL, PostGIS.
- Manejo de archivos vectoriales Shapefile, ArcInfo coverages, MapInfo, GRASS GIS, DXF, etc.

- Soporte para un importante número de tipos de archivos ráster (GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, JPG, etc.)

Una de sus mayores ventajas es la posibilidad de usar Quantum GIS como GUI (Interfaz gráfica de usuario) del SIG GRASS, utilizando toda la potencia de análisis de este último en un entorno de trabajo más amigable. QGIS está desarrollado en C++, usando la biblioteca Qt para su Interfaz gráfica de usuario. (Wikipedia, 2021)

**El QWater**, es un complemento basado en GHydraulics Plugin de Steffen Macke . Permite diseñar y analizar redes de abastecimiento de agua mediante EPANET (sin necesidad de instalación). Permite escribir archivos EPANET INP, así como ejecutar una simulación EPANET desde QGIS completa con la carga de los datos de resultados. QWater contiene una función para calcular diámetros económicos basados en diámetros dados y máxima pérdida de carga por fricción. Se puede acceder a las funciones desde el menú del complemento Qgis y las barras de herramientas.

**Diseño y análisis hidráulico de redes de abastecimiento de agua.**

La metodología del software EPANET, es el Método Gradiente, Según Saldarriaga (2007), el método de gradiente para determinar las características hidráulicas de una red de distribución de agua, se basa en el flujo constante de este, donde se garantiza el cumplimiento de las ecuaciones de las ecuaciones de conservación de masa en los nodos de la red y la ecuación de conservación de energía en cada uno de los circuitos de esta. En los nodos se cumple la ecuación de la conservación de masa:

$$\sum_{i=1}^{NTi} Q_{ij} - Q_{Di} + Q_{ei} = 0 \dots\dots\dots(5.1)$$

Además, la analogía entre el caudal y las pérdidas por fricción debe ser no lineal, por lo que la ecuación a usar sería:

$$Q = -2 \frac{\sqrt{2gdh_i}}{\sqrt{f}} \text{Alog}_{10} \left[ \frac{ks}{3.7d} + \frac{2.51v\sqrt{f}}{\sqrt{2gd^2\sqrt{h_i}}} \right] \dots\dots\dots (5.2)$$

Por otra parte, si se va considerar las pérdidas menores en algunas tuberías o si existe la presencia de válvulas o bombas, la ecuación tomará la siguiente forma:

$$h_i = \alpha Q_i^n + \beta Q + \gamma \dots\dots\dots (5.3)$$

Dónde:

n: es el exponente, esta depende de la ecuación a usar, (2 si se utiliza Darcy-Weisbach)  $\alpha$  es el parámetro propio de tubería, válvulas y bombas.  $\beta$ ,  $\gamma$  solo aparecen en caso estén incluidos válvulas y bombas en el tramo, caso contrario valen cero.

Se deben conocer las siguientes definiciones adicionales para el método de gradiente hidráulico:

NT: Es el número de tuberías que conforman la red.

NN: Es el Número de nodos con desconocido presión piezométrica.

[A12]: Es la matriz de Conectividad representada por cada nodo de la red. El tamaño de dicha matriz es de NT X NN donde presenta dos elementos diferentes de cero en la i-esima fila.

-1 representa al nodo inicial del tramo i, en la columna correspondiente.

1 representa al nodo final del tramo i, en la columna correspondiente.

NS: Número de nodos con presión conocida o fija.

[A10]: Es la matriz topológica de los NS nodos presión de carga fija del tramo. Su tamaño es de NT x NS, presenta un valor igual a -1 en las filas que corresponden a nodos de carga de presión fija de los tramos.

Con lo anteriormente definido, la pérdida en un tramo de tubería conectados por dos nodos será:

$$[A11][Q] + [A12][H] = -[A10][HO] \dots\dots\dots (5.4)$$

Dónde:

[A 11]: Matriz diagonal de NT x NT definida como sigue:

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 Q_1^{n1-1} + \beta_1 \frac{\gamma_1}{Q_1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Q_2^{n2-1} + \beta_2 \frac{\gamma_2}{Q_2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & Q_3^{n3-1} + \beta_3 \frac{\gamma_3}{Q_3} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \alpha_n Q_n^{nn-1} + \beta_n \frac{\gamma_n}{Q_n} \end{bmatrix} \dots \quad (5.5)$$

[Q] : Es el vector de caudales cuyo tamaño es NT x 1

[H] : Es el vector de nodos con cargas piezométricas por conocer NN x 1

[HO] : Es el vector de nodos con cargas piezométricas conocidas NS x 1

### Definición de términos básicos

Según Terán 2012, los definió así:

**Consumo doméstico**, se define como la cantidad de agua promedio consumido en una vivienda y esta depende del clima, las condiciones socioeconómicas de los demandantes (usuarios), además fluctúa de acuerdo a las siguientes condiciones como la presión de cobertura, implementación de disposición de excretas y costos del servicio de agua.

**La demanda**, es la cantidad de agua que se necesita para cubrir la necesidad del líquido elemento de una determinada población, para diseñar los diferentes componentes hidráulicos del sistema, se calcula para una población proyectada y con los consumos dependientes del clima y condiciones socioeconómicas.

**La dotación**, se define como la cantidad promedio de cantidad de agua asignada por habitante para su consumo en un día promedio anual, esta cantidad representa todos los consumos de agua en sus diferentes formas y pérdidas físicas dentro del sistema, sus unidades esta dadas por l/h/día. La dotación depende de clima, de las condiciones socioeconómicas de cada población, la dotación se puede obtener mediante estudios de demandas en zonas que

cuentan con micro mediciones, para zonas sin medición, se obtiene de tablas de demandas proporcionados por entidades responsables del sector, que obtuvieron de proyectos similares realizados anteriormente.

**Caudal de diseño**, es el caudal con que se dimensionara las diferentes infraestructuras hidráulicas del sistema de agua potable, para la red de distribución se dimensionara con un caudal máximo horario, este caudal es el resultado del producto del caudal de demanda total afectado por un coeficiente de variación horaria del servicio más gastos contraincendios y las que se consideren en las demandas.

Según Egea 2013, los definió así:

**Nodo**, elemento de la topología de la red hidráulica que consiste en un punto, puede estar formado por unión de dos o más tuberías, además puede ser un punto por donde entra o sale el agua al sistema. La entrada del agua se representa con la asignación positiva del caudal y la salida con representa asignándole un caudal negativo al sistema. Las características principales es que presentan cotas conocidas y caudales entrantes o salientes.

**Tanque**, elemento de la topología de la red hidráulica que tiene la función de actuar como fuente o sumidero de agua. Su característica primordial es que mantiene un volumen constante a pesar de las entradas y salidas de agua al sistema, es decir que tiene un tamaño suficientemente grande en comparación del sistema, el parámetro representativo es la cota hidráulica constante.

**Tubería**, elemento lineal de la topología de la red hidráulica que conecta dos nodos en el sistema hidráulico, para el modelo hidráulico se asumen que siempre se encuentran llenas de agua y este elemento tiene la propiedad de estar abierto o cerrado al flujo, además de limitar el flujo a un solo sentido sin necesidad de incluir válvulas al modelo. El parámetro representativo de este elemento es el flujo de caudales, un diámetro asignado, longitud escalada y el coeficiente de rugosidad.

**Válvulas**, elemento puntual de la topología de la red hidráulica, en un modelo se toma para varios usos como válvulas reductoras de presión, válvulas



sostenedoras de presión, válvulas limitadoras de flujo, etc. en Epanet se cuenta con varios tipos, entre ellos; válvula reductora, válvula sostenedora de presión, válvula limitadora de caudal, etc., cuyo uso o comportamiento programa el usuario de acuerdo a las necesidades del modelo.

Según, Cricyt (2009) los definió así:

**Dem**, es una representación de ráster que contiene la información de una superficie continua, que por lo general es la superficie de trozo de la tierra. La precisión de esta información depende principalmente de la resolución que tiene (la distancia entre los puntos de muestra).

**Tin**, consiste en una red de Triángulos Irregulares creados a partir de una base de datos vectoriales denominados curvas de nivel.

**Vectorial**, es la representación geográfica digital de una información de la superficie de la tierra, hay varios tipos de representación vectorial como los de tipo punto, líneas y polígonos.

**Ráster**, es la representación geográfica digital de un fenómeno del mundo real, la información almacenada es en formato grillado o en cuadrículas conformados por columnas y filas de tamaños iguales y que poseen un valor.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

##### Tipo de investigación

El tipo de investigación en el presente informe de tesis es de “**tipo aplicada o tecnológica**”, porque se utilizaron métodos y técnicas diferentes para el modelamiento de las redes de distribución de agua potable con los parámetros de las normas vigentes.

##### Diseño de investigación

**El diseño de** la presente investigación de modelamiento de redes de distribución de agua potable es “**Diseño no experimental; transversal descriptivo**” se dice que un diseño no experimental, ya que no habrá adulteración de las variables; Transversal descriptivo, usa estudios comparativos o parámetros para comparar los resultados (norma técnica), se realizara el modelamiento hidráulico usando el software QGIS y su complemento QWATER, para ello se determinó el lugar, la cantidad de la población, la dotación, catastro actualizado de la localidad y la topografía como las variables del estudio.

El proceso que siguió el modelo fue el siguiente esquema:



Donde:

- M : Muestra
- D : Diseño
- R : Resultados
- A : Análisis

#### 3.2 Variables y operacionalización

##### Variables

Variable independiente: el caudal de diseño, la topografía de la localidad y la topología de la red de distribución.

Variable dependiente: Modelamiento de las redes de distribución de agua potable.

**Tabla 3**  
*Operacionalización de Variables*

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
<b>Variable independiente:</b> el caudal de diseño, la topografía y la topología de las redes de distribución	Saldarriaga (2007) Las redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua son conocidos por presentar al menos un ciclo cerrado; el análisis de dichas redes consiste en la determinación de las presiones o cabezas en cada uno de las uniones o nodos y de los flujos en las tuberías de la red a partir de unas condiciones de topografía, de cotas conocidas de los nodos de entrada y de los caudales demandados en los nodos de la red.	Elaboración del plano catastral a partir del levantamiento topográfico, obtención de número de habitantes y viviendas a partir del padrón, definir la dotación, trazo de la topología de las redes.	Determinación de la demanda	N° de habitantes N° de viviendas Tasa de crecimiento Dotación Plano catastral Topografía Reservorio Nodos Tuberías Caudales Diámetros Velocidades Perdidas de carga Presiones	Unid Unid %  l/s/hab M2 km Unid Unid Unid l/s mm m/s m/km mca
<b>Variable dependiente:</b> Modelamiento de las redes de distribución de agua potable		Modelo de simulación hidráulica de las redes de distribución de agua potable con el software Qgis y su complemento Qwater, de acuerdo a la normativa vigente	Elaboración de la cartografía, Topografía y Topología de las redes.  Modelamiento hidráulico de las redes de distribución de agua potable		

### **3.3 Población, muestra y muestreo**

#### **Población**

La población en estudio es la totalidad de la población de la localidad de Nueva Esperanza al año 2021, el cual consta de 1853 habitantes y 523 viviendas, los cuales son los demandantes de las redes de distribución de agua potable.

#### **Muestra y muestreo**

No corresponde considerar muestra y muestreo alguno para la presente tesis, ya que se incorporó a toda la población de la localidad de Nueva Esperanza.

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

#### **Técnicas**

Se realizó mediante la técnica de observación en situ, con lo cual se obtuvo los diferentes datos necesarios para la demanda de agua y modelización de las redes de distribución, para lo cual se llevaron a cabo empadronamiento de la población para conocer a la población demandante, la codificación de las viviendas habitadas, además se realizaron estudios básicos como el levantamiento topográfico, acceso a los censos del INEI, para conocer la tasa de crecimiento y el uso de software con el Qgis y su complemento Qwater.

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

Los instrumentos con que se recolectaron datos constan de: Ficha de empadronamientos, plano catastral base, ficha de codificación de viviendas, equipos de topografía, así como equipos de cómputo para el procesamiento de los datos recogidos.

### **3.5 Procedimientos**

#### **Trabajos de campo**

- Previo a la recolección de los datos en campo, se realizará el reconocimiento y recorrido de la zona en estudio para el planteamiento de los trabajos.
- Se realizarán los empadronamientos para conocer la cantidad de habitantes por cada vivienda habitada y así conocer la densidad poblacional.
- Se realizarán la codificación de las viviendas, para identificar las viviendas habitadas de las viviendas no habitadas, marcando con una numeración las viviendas habitadas con esmalte, además la identificación de instituciones públicas y sociales.
- Paralelamente a las actividades anteriores, se realizará el levantamiento topográfico con estación total, partiendo desde el reservorio y continuando por todas las calles hasta finalizar en las últimas casas de la localidad.
- Además, se constituirá a las fuentes de agua, para poder realizar el aforo del caudal, para conocer el volumen de la oferta de agua.

#### **Recolección de datos de instituciones**

- Consiste en la obtención de información de instituciones como el INEI, para obtener los resultados de los censos de los años 2007 y 2017 de la página web del INEI, para conocer la tasa de crecimiento de la población en el área del estudio.
- También se realizó la obtención de datos de la cantidad de la población escolar de la localidad en estudio de la página ESCALE del ministerio de educación (MINEDU), para conocer la cantidad de la población estudiantil el cual sirvió para el cálculo de la demanda de las instituciones educativas.
- Se realizan la descarga de internet del R.M. 192-2018-VIVIENDA, “Norma técnica de diseño; opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural” y sus correspondientes anexos referente a la red de distribución.

- También se solicitará el plano catastral de la localidad (si es que existiera) a la Municipalidad Distrital de Chicmo, distrito al cual pertenece la localidad en estudio.
- Descarga del software gratuito QGIS, desde su página web del programa.

### **Preparación de los datos de ingreso al modelo**

- Teniendo los datos de la población actual y los censos, se procederá a calcular la tasa de crecimiento y la población de diseño (futura) para el periodo de diseño del tipo de proyecto.
- Con el procesamiento de los datos del levantamiento topográfico, se obtendrá la topografía de la localidad en estudio, además se realizará el plano catastral de la localidad con el software QGIS y se elaborara el modelo de elevación digital del terreno (MDT), para conocer la cota de los nodos que conforman la topología de las redes de distribución.
- Una vez conocida la población de diseño, teniendo la elección de la dotación se calculará la demanda de agua potable.
- Se realizará la topología de las redes de distribución donde se obtendrá los elementos que conforman la misma como es el reservorio, los nodos, las tuberías y las válvulas, también se calculara la demanda de cada nodo mediante el método de polígono de Thiessen y la densidad poblacional.

### **Resultados del modelamiento hidráulico**

- Una vez que se tenga los datos de ingreso al modelo, se realizará el proceso de modelamiento hidráulico de las redes de distribución con el programa QGIS y su complemento QWATER, en dicho proceso se ingresará elegirá el método de cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías a usar y la elección manual de los diámetros comerciales, teniendo en cuenta los diámetros mínimos, velocidades máximos y mínimos y presiones máximas y mínimas.

- Después de ejecutar el comando “run” en el programa Qwater, se evaluará las velocidades y pérdidas de carga en las tuberías y las presiones en los nodos, el proceso anterior puede realizarse varios ciclos eligiendo los diámetros comerciales adecuados hasta obtener las velocidades y presiones óptimas.
- Luego de analizar los resultados se procederá a informar de los mismos y las conclusiones a las que se ha llegado con el presente trabajo.

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

Para el presente análisis de datos, la metodología utilizada es de tipo cuantitativo. Los trabajos de análisis de datos se desarrollaron a nivel de gabinete, donde se determinará la población futura demandante, la cantidad de viviendas habitadas, instituciones sociales demandantes además se determinará la dotación correspondiente para las características de la localidad y por último se determinará el caudal de diseño.

En cuanto a la topografía, se realizará el procesamiento de los datos topográficos mediante el programa Qgis, además se elaborará el plano catastral actualizado en el programa Qgis.

Además, se hará la recolección de datos válidos y confiables de las instituciones del estado como al MINEDU y el INEI.

### **3.7 Aspectos éticos**

Se tomaron con total responsabilidad la autenticidad de los datos y muestras recolectadas del área de estudio para poder obtener resultados verdaderos y confiables.

Los beneficios futuros que se obtengan a través de este documento deben ajustarse a estándares éticos, por lo que es importante considerar sus posibles ventajas y desventajas y cómo puede contribuir o afectar a la sociedad.

#### IV. RESULTADOS

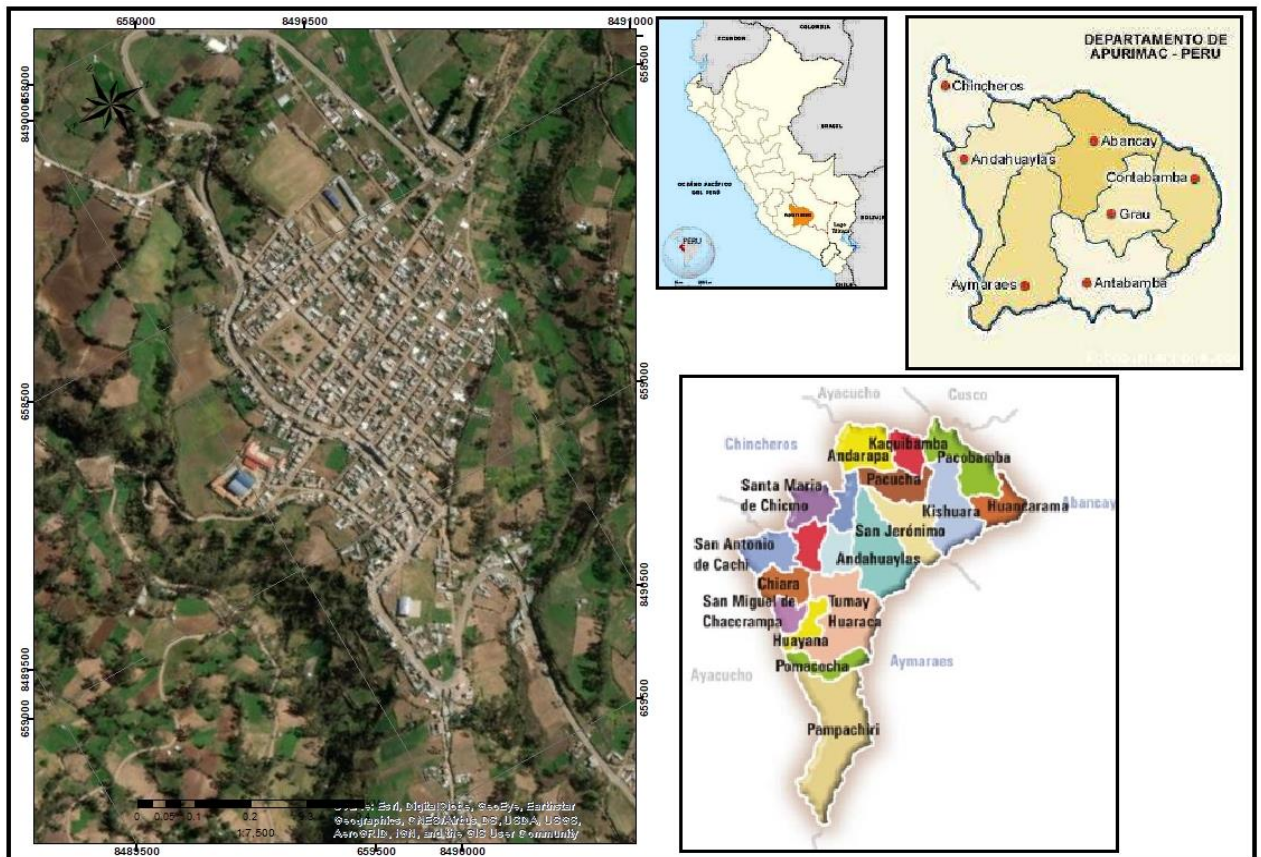
Para el modelamiento hidráulico de las redes de distribución de agua, se debió considerar lo siguiente:

##### Localización del área de estudio

La localidad de Nueva Esperanza, está ubicado en la jurisdicción del distrito de Santa María de Chicmo, Provincia de Andahuaylas, Departamento de Apurímac, tiene una población referencial de 523 familias al año 2020, Cada familia tiene en promedio de 3.54 habitantes, lo que resultan un total de 1,853 habitantes.

Se encuentra comprendida entre las siguientes coordenadas:

Nueva Esperanza      13°39'11.1"S; 73°31'60"O; 3516 m Z.



**Figura 5.** Ubicación de la Localidad en Estudio

*Nota.* Ubicación política del área de estudio





**Figura 6.** Imagen Satelital de la Localidad en Estudio

*Nota.* Imagen tomada del Google earth de la zona del estudio

### **Topografía del área del estudio**

El tipo de levantamiento topográfico urbano se efectuó, utilizando para ello la Estación Total Topcon. Los puntos topográficos que se muestran en el plano topográfico, sus coordenadas han sido referenciadas al sistema UTM WGS84.

La metodología del trabajo que se utilizó es el método radial con una estación de observación establecida a nivel de campo y posteriormente en gabinete, se ha adecuado de acuerdo a la tipología del proyecto, la necesidad de conocer los datos topográficos y ceñidos al calendario de actividades presentados.

- Para el desarrollo de la Topografía, se consideró una brigada de campo, dirigidos por el jefe de topografía y jefes de estudio.
- La brigada de topografía ha estado compuesta por un jefe de Brigada (topógrafo) y Auxiliares de Topografía.

- Los trabajos topográficos, se llevaron a cabo con el uso de métodos convencionales de trazo, nivelación y radiación, con los equipos de Precisión mencionados, como la Estación Total Topcon.
- Durante el trazado, seccionamiento se ha colocado BMs materializados con pintura y sus respectivas referencias para su fácil identificación.



**Figura 7.** Fotografía del Levantamiento Topográfico

*Nota.* se puede apreciar el levantamiento topográfico de las calles y la numeración de las viviendas que serán beneficiadas con el proyecto.

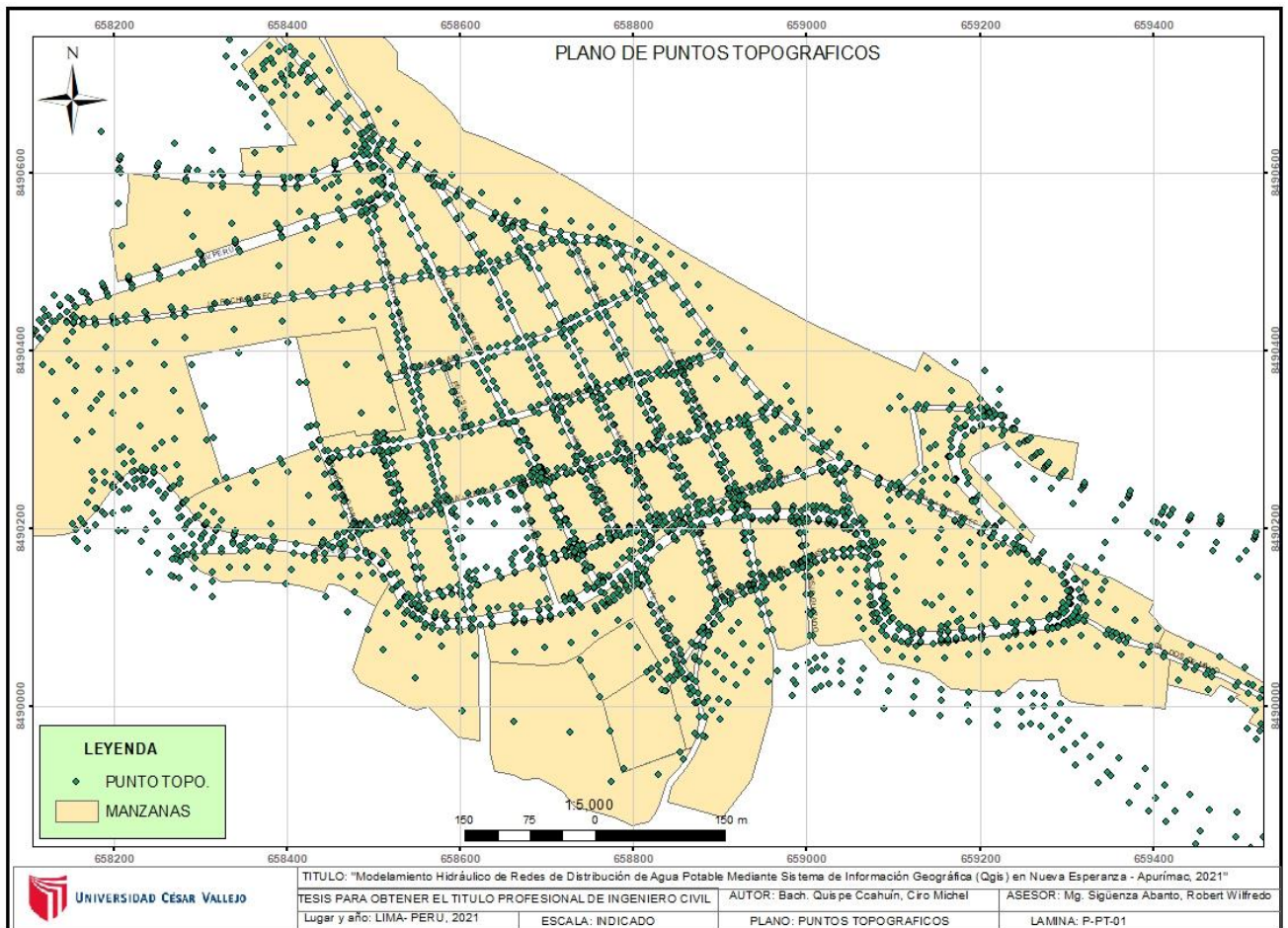
**Tabla 4**

*Ubicación de Puntos de BMs*

<b>Cuadro de coordenadas UTM BMs</b>			
<b>N°</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>
BM-01	8490724.94	658375.52	3612.72
BM-02	8490622.53	658492.10	3587.13
BM-03	8490438.45	658120.86	3568.29

BM-04	8490171.13	658284.63	3532.21
BM-05	8490198.18	658492.14	3532.20
BM-06	8490177.10	658675.38	3531.33
BM-07	8490283.49	658511.15	3543.28
BM-08	8490499.42	658678.37	3559.08
BM-09	8490403.47	658672.05	3550.20
BM-10	8490350.55	658761.61	3534.83

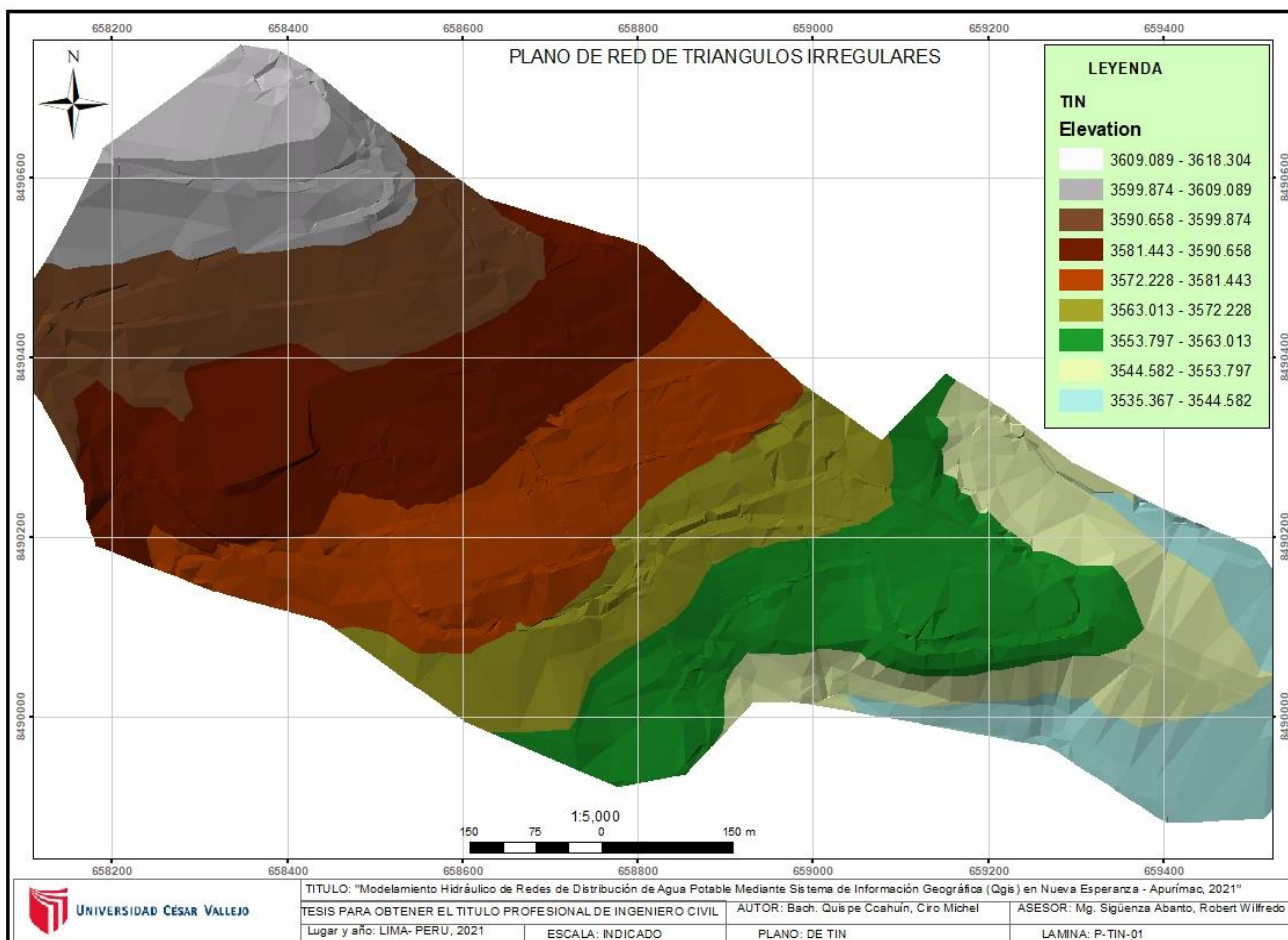
Los datos del levantamiento topográfico, se ha importado el Gis para su posterior procesamiento.



**Figura 8.** Puntos Topográficos Importados al QGIS

*Nota.* En la figura 8 se observa en procesamiento de los puntos topográficos en el Programa Qgis.

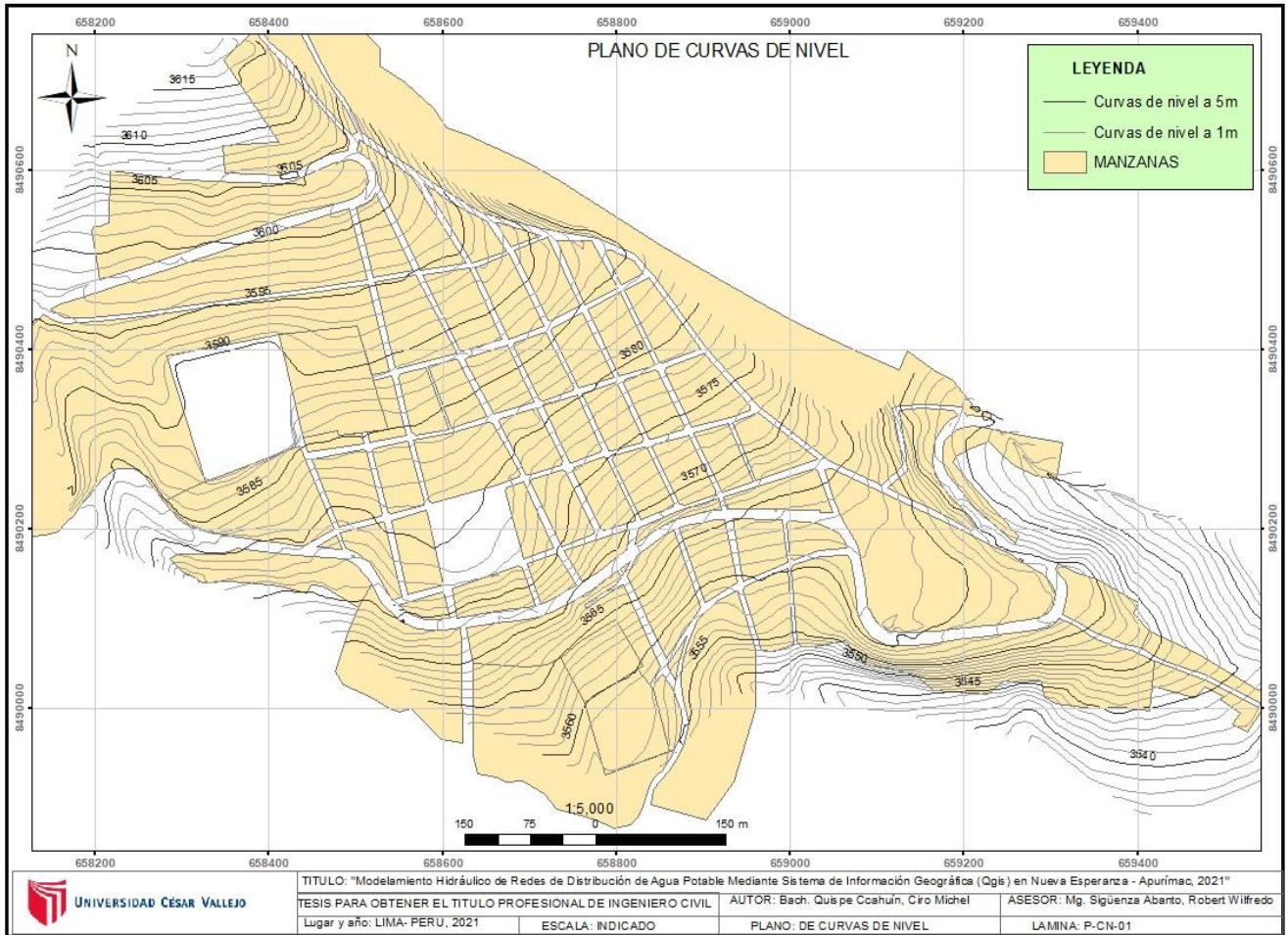
Siguiendo con el procesamiento de los Puntos del levantamiento topográfico, se ha generado un TIN (siglas en ingles de red de triángulos irregulares), que consiste en la representación tridimensional del terreno.



**Figura 9.** Red de Triángulos Irregulares (TIN)

*Nota.* En la figura 9, se observa en procesamiento de un TIN a partir de los puntos topográficos en el Programa Qgis.

Con el TIN generado se procedió a realizar las curvas de nivel maestras y las curvas de nivel secundarios (las maestras cada m y las secundarias a cada m), las curvas de nivel se realizaron con el software QGIS.



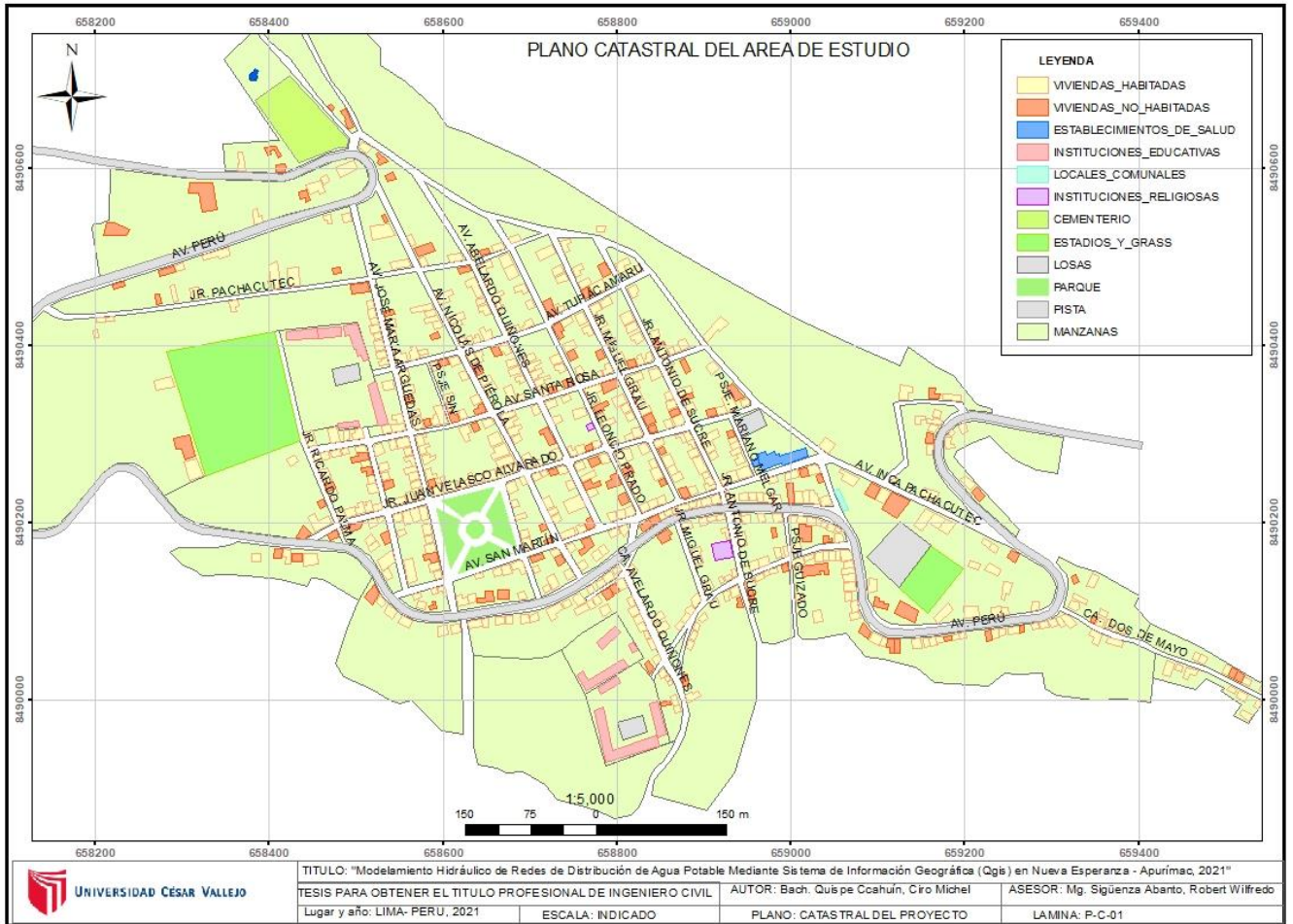
**Figura 10.** Curvas de Nivel del Área de Estudio

*Nota.* En la figura 10, se observa en la obtención de las curvas de nivel a partir del TIN, y el dibujo de las calles y manzanas de la localidad en estudio.

### Plano catastral del área de estudio

Con el levantamiento topográfico de las calles, manzanas y predios, con la identificación de numerado de viviendas, Locales públicos y sociales, se ha realizado el plano catastral de la localidad de Nueva Esperanza en el Software Qgis, con la opción de edición vectorial.

Se han identificado las calles con nombre propio, las manzanas, 523 viviendas habitadas, viviendas no habitadas y 10 locales entre sociales y comunales.



**Figura 11.** Plano Catastral del área en Estudio

Nota. En la figura 11, se observa la edición del plano catastral actual de la localidad de Nueva Esperanza, a partir del levantamiento topográfico y la codificación de las viviendas y locales estatales.

## Determinación de la población demandante

### Población actual

La población actual se determinó mediante un empadronamiento general de acuerdo a los requerimientos y formatos del ministerio de vivienda (ente gubernamental encargado de planificación, ejecución de proyectos de saneamiento del país).

La población de la localidad de Nueva Esperanza al año 2021, es como se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 5**

*Población y Viviendas en la Localidad de Nueva Esperanza, año 2021*

Localidad	Habitantes	N° Viviendas
Nueva Esperanza	1,853	523
<b>Total</b>	<b>1,853</b>	<b>523</b>

Nota. Padrón de beneficiarios y conteo de viviendas, año 2021

**Tasa de crecimiento**

Este indicador de la población de la localidad de Nueva Esperanza, se determinó con los datos de los censos del INEI de los años 2007 y 2017 a nivel del distrito de Santa María de Chicmo, distrito al cual pertenece la localidad en estudio.

Censos de Población y Vivienda 2007 / Población

DEPARTAMENTO  PROVINCIA  DISTRITO

TIPO DE PRESENTACIÓN

CUADRO  GRÁFICO  MAPA

CUADRO N° 1: POBLACIÓN TOTAL, POR ÁREA URBANA Y RURAL, Y SEXO, SEGÚN DEPARTAMENTO, PROVINCIA, DISTRITO Y EDADES SIMPLES

DEPARTAMENTO, PROVINCIA, DISTRITO Y EDADES SIMPLES	TOTAL	POBLACION		TOTAL	URBANA		TOTAL	RURAL	
		HOMBRES	MUJERES		HOMBRES	MUJERES		HOMBRES	MUJERES
Distrito SANTA MARIA DE CHICMO (000)	9,430	4,614	4,816	4,584	2,239	2,345	4,846	2,375	2,471

**CENSOS NACIONALES 2017: XII DE POBLACIÓN, VII DE VIVIENDA Y III DE COMUNIDADES INDÍGENAS**  
Sistema de Consulta de Base de Datos

AREA # 030215 Apurímac, Andahuaylas, distrito: Santa María de Chicmo

P: Área concepto encuesta	Casos	%	Acumulado %
Urbano encuesta	4 374	53,66%	53,66%
Rural encuesta	3 778	46,34%	100,00%
<b>Total</b>	<b>8 152</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

**Figura 12.** Resultados del censo 2007 y 2017 del INEI, a nivel del distrito de Chicmo

Nota. Tomado del INEI, Censos nacionales de 2007 y 2017

La tasa de crecimiento se calculó con la fórmula de crecimiento aritmético, de acuerdo a los datos de INEI.

Población del distrito de Santa María de Chicmo en 2007: 9,430 Habitantes

Población del distrito de Santa María de Chicmo en 2017: 8,152 Habitantes

**Tabla 6**

*Cálculo de la Tasa de Crecimiento Poblacional*

Año	P (Hab)	n (años)	tc	tc (%)
2017	8,152			
		-10	-0.0145	-1.45
2007	9,430			
<b>Tasa de crecimiento</b>			<b>-0.0145</b>	<b>-1.45</b>

Nota. Cálculo de la tasa de crecimiento con datos tomados den INEI.

Como se observa en la tabla anterior, se tiene una tasa de crecimiento a nivel distrital es negativa, por ende, para la presente investigación, se consideró una **tasa de crecimiento de %**, según recomendaciones de MVCS.

**Población Futura o de diseño**

Según el MVSC, el periodo de diseño de un sistema de agua potable es de 20 años, por lo que se trabajó con una población futura demandante dentro de 20 de la localidad de Nueva Esperanza con la tasa de crecimiento distrital, obteniéndose el siguiente cuadro.

**Tabla 7**

*Población Futura de la Localidad*

Localidad	Población Actual	Tasa De Crecimiento	N (Años)	Población Futura
NUEVA ESPERANZA	1853	0.00%	20	1853



## **Demandante no domestico**

Esta demanda está determinada los locales sociales como los centros educativos de los tres niveles, los centros de salud, centros comunales y religiosos.

**Tabla 8**

*Demanda de Usuarios no Domésticos*

<b>Locales Sociales</b>	<b>Unidad Física</b>	<b>Unidad De Medida</b>	<b>Cantidad</b>
Inicial	1	alumnos	105
		docentes	6
Primaria	1	alumnos	228
		docentes	17
Secundaria	1	alumnos	185
		docentes	20
Puesto de Salud	1	N° de personal	5
		N° de camas	4
Iglesia Católica	1	N° de asientos	60
Iglesia Evangélica	1	N° de asientos	50
Local Comunal	1	m2	120
Mercado	1	m2	250
Estadio	1	N° de asientos	200
Polideportivo	1	m2	500

*Nota.* Tomado del escale y Trabajo de campo del investigador

## **Elección de la dotación en el área del estudio**

La localidad de Nueva Esperanza, según los estándares de definición de MVCS, se encuentra enmarcado como una localidad rural por tener menor a 2,000 habitantes, por lo que los parámetros de diseño, corresponden a una localidad rural.

### **Dotación de consumo domestico**

La dotación promedio por habitante, se ha tomado del R.N.E., dicha dotación varía de acuerdo al clima y el tamaño de la población usuaria del servicio además de las condiciones socioeconómicas de la población.

**Tabla 9***Dotación Poblacional para la Región Natural Sierra*

<b>Tipo de UBS</b>	<b>Costa (l/hab/día)</b>	<b>Sierra (l/hab/día)</b>	<b>Selva (l/hab/día)</b>
Con Alcantarillado	120	100	140
Con Arrastre Hidráulico	90	80	100
Sin Arrastre Hidráulico	60	50	70

*Nota.* Tomado del R.M. 192-2018-MVCS

Para el presente Estudio, se Optado por una **dotación de 100 l/hab/día**, por recomendación del MVCS, ya que la localidad de Nueva Esperanza cuenta con un sistema de Alcantarillado de reciente Instalación y se encuentra en funcionamiento.

**Dotación de consumo No domestico**

Es la dotación a los locales sociales como los centros educativos de los tres niveles, los centros de salud, centros comunales y religiosos, estos datos fueron tomados del R.N.E. los cuales se presentan a continuación.

**Tabla 10***Dotación de Locales Estatales y Sociales*

<b>Instituciones</b>	<b>Unidad</b>	<b>Dotación</b>
Inicial	Alumnos	20 l/día
	Docentes	25 l/día
Primaria	Alumnos	20 l/día
	Docentes	25 l/día
Secundaria	Alumnos	25 l/día
	Docentes	25 l/día
Puesto De Salud	N° de personal	100 l/día
	N° de camas	600 l/día
Iglesia Católica	N° de asientos	3 l/día
Iglesia Evangélica	N° de asientos	3 l/día
Local Comunal	m2	30 l/día
Mercado	m2	15 l/día

Estadio	N° de Asientos	15 l/día
Polideportivo	m2	30 l/día

*Nota.* Tomado de la Norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones

## **Demanda de caudales en la localidad en estudio**

### **Coefficientes de variación de consumo.**

Los coeficientes de variación de consumo, se tomaron del R.M. 192-2018 Vivienda, se consideran los siguiente.

- Caudales medio diarios ( $Q_m$ ) = dot (l/hab/día) xPob. Futura/86400
- Caudal Máximo diario ( $Q_{md}$ ) =  $K_1 \times Q_m$
- Caudal Máximo Horario ( $Q_{mh}$ )= $K_2 Q_m$

Donde  $K_1=1.3$  y  $K_2=2$

Para el diseño de las redes de distribución de agua potable, se utiliza el Caudal Máximo horario ( $Q_{mh}$ )

## Demanda total de caudales de diseño

**Tabla 11**

*Demanda Proyectada de la Localidad de Nueva Esperanza*

Tipos de Demanda	Capacidad de Demanda		Dotaciones		Cálculos de Demanda		
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Qm (L/s)	Qmd	Qmh
Consumo Doméstico por Habitantes	1,853	Habitantes	100.00	Lt/hab/dia	2.359	3.067	4.718
<b>Centros de salud</b>							
N° de camas	4.00	Camas	600.00	Lt/cama/dia	0.033	0.043	0.067
N° de Personal en servicio	5.00	Personal	100.00	Lt/personal/dia	0.007	0.009	0.014
<b>Instituciones Educativas</b>							
<b>Inicial</b>							
N° de alumnos	105.00	Alumno	20.00	Lt/alumno/dia	0.029	0.038	0.058
N° de docentes	6.00	Docente	25.00	Lt/docente/dia	0.002	0.003	0.004
<b>Primaria</b>							
N° de alumnos	228.00	Alumno	20.00	Lt/alumno/día	0.044	0.057	0.088
N° de docentes	17.00	Docente	25.00	Lt/docente/dia	0.006	0.008	0.012
<b>Secundaria</b>							
N° de alumnos	185.00	Alumno	25.00	Lt/alumno/dia	0.064	0.084	0.128
N° de docentes	20.00	Docente	25.00	Lt/docente/dia	0.007	0.009	0.014
<b>Institución religiosa</b>							
Iglesia evangélica	50.00	Asiento	3.00	Lt/asiento/dia	0.002	0.003	0.004
iglesia católica	60.00	Asiento	3.00	Lt/asiento/dia	0.003	0.003	0.005
<b>Locales estatales</b>							
Locales Comunal	120.00	m2	30.00	Lt/m2/dia	0.050	0.065	0.100
Mercado	250.00	m2	15.00	Lt/m2/dia	0.052	0.068	0.104
Estadio	200.00	Asiento	15.00	Lt/asiento/dia	0.042	0.054	0.083
Polideportivo	500.00	m2	30.00	Lt/m2/dia	0.208	0.271	0.417
<b>Total, de Demanda</b>					<b>2.908</b>	<b>3.781</b>	<b>5.817</b>

## **Proceso de Modelamiento**

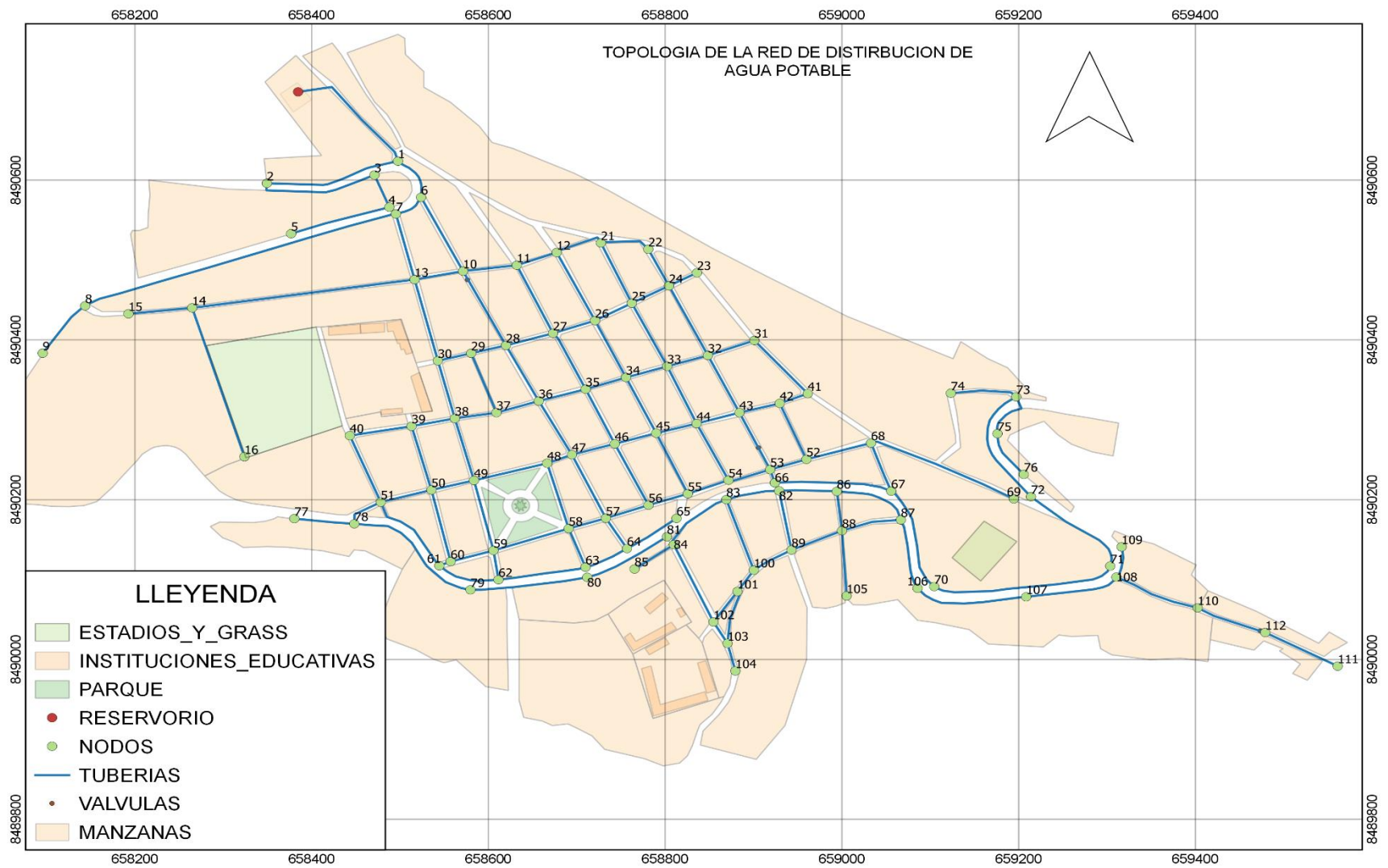
### **Topología de la red de distribución**

La topología de las redes de distribución de agua potable, se construyó en software libre Qgis, con la herramienta Edición vectorial, teniendo como mapa base el plano catastral de la localidad:

La topología de la red de distribución de la localidad en estudio, presenta los siguientes elementos:

- Reservoirio
- Nodos
- Válvulas
- Tuberías

El reservorio, se concibió en QGIS como elemento vectorial de tipo punto, los nodos y las válvulas también se editaron en QGIS como elemento vectorial de tipo punto y la tubería como elemento vectorial de tipo línea, todos los elementos de la topología de la red, se editaron sobre el plano catastral georreferenciado y a escala, con lo cual las ubicaciones y longitudes corresponden a la ubicación real y dimensión real del terreno.

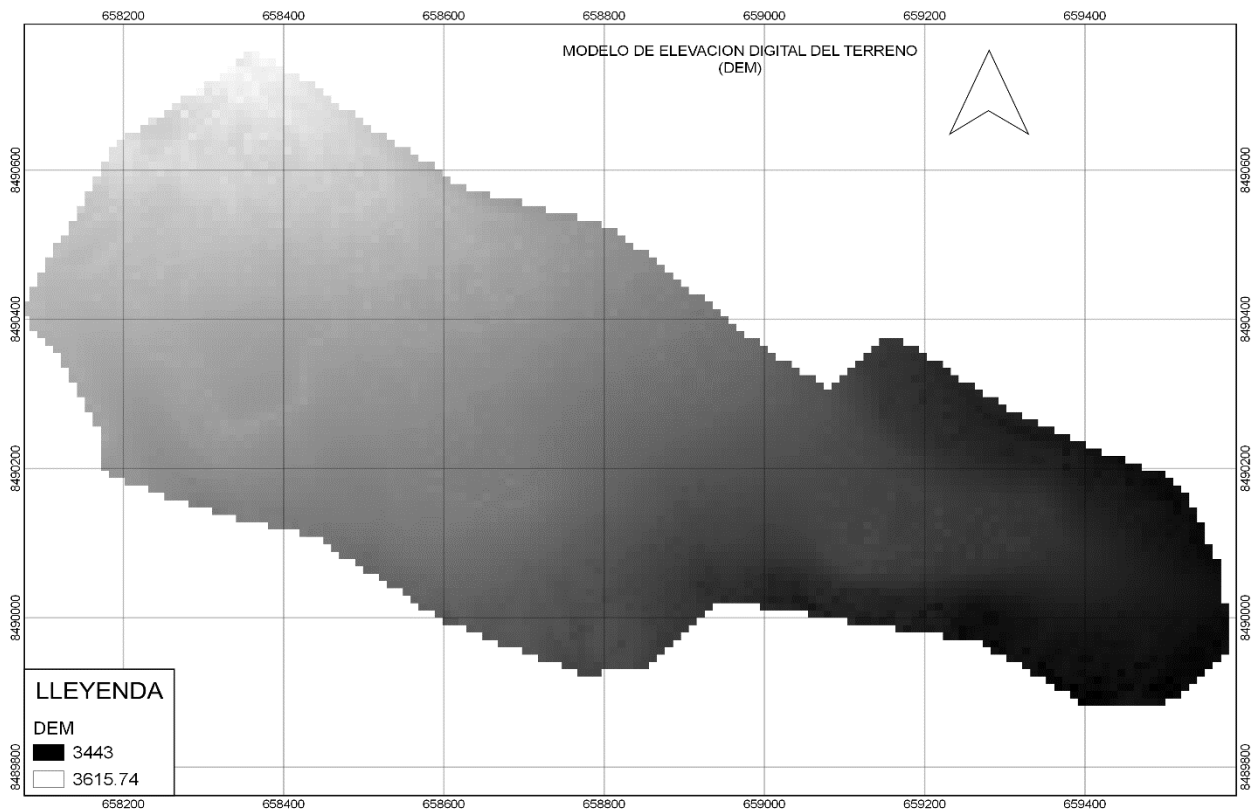


**Figura 13.** Topología de la Red de Distribución de Agua Potable

## Modelo de elevación digital del terreno (DEM)

Con las curvas de nivel generados en el Software QGIS, se procedió la elaboración de un DEM (modelo de elevación digital del terreno), el cual es un elemento de ráster, de formato grillado que contiene la elevación en grillas de 1mx1m y georreferenciado.

El DEM, nos servirá para asignar automáticamente las cotas a los elementos de tipo punto (el reservorio, los nodos y las válvulas).

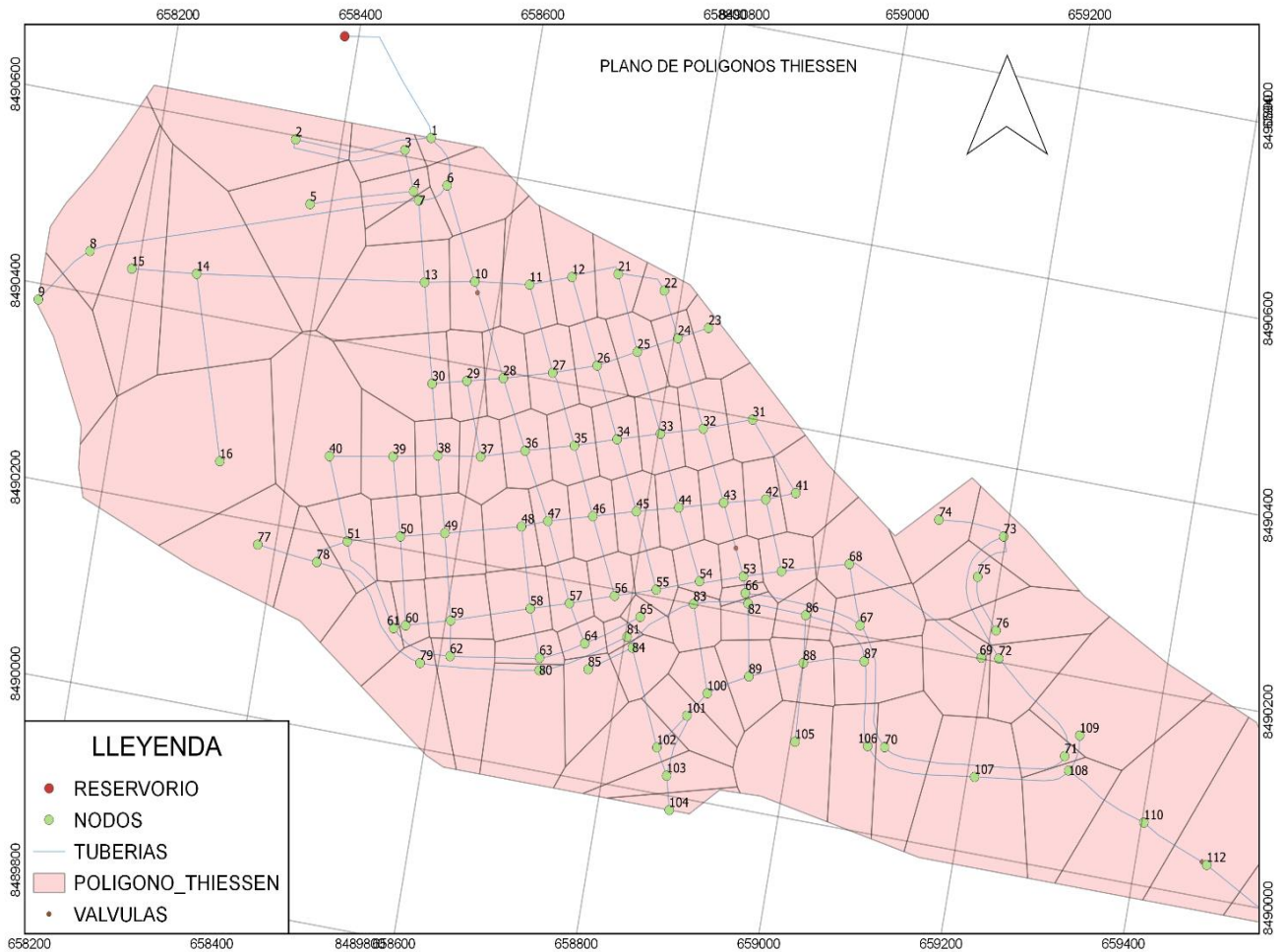


**Figura 14.** Modelo de Elevación Digital (DEM)

## Demanda de Caudal en los nodos

### Área de influencia de cada nodo

Para determinar las demandas en los nodos, previamente se realizó el polígono de Thiessen, con la ayuda del programa QGIS, dicho polígono se realizó para todos los nodos, por lo cual mediante dicho polígono se determinó el área de influencia de cada nodo.



**Figura 15.** Polígono de Thiessen para el área de influencia de cada nodo

### **Demanda de caudal de los nodos**

Para obtener los caudales de consumo de cada nodo, se contó el número de viviendas habitadas dentro del área de influencia de cada nodo, además se considerado las instituciones sociales dentro del área de influencia de nodos.

Para conocer la cantidad de habitantes dentro del área de influencia de cada nodo, se multiplico el número de viviendas por la densidad poblacional de la localidad.



**Tabla 12***Demanda de Caudal en los Nodos de las Redes*

Nodo	Demanda	Nodo	Demanda	Nodo	Demanda	Nodo	Demanda
2	0.00902	26	0.25964	51	0.07217	76	0.06315
3	0.00902	27	0.05413	52	0.06315	77	0.00000
4	0.01804	28	0.08119	53	0.02706	78	0.03609
5	0.00902	29	0.08119	54	0.04511	79	0.00902
6	0.00902	30	0.07217	55	0.08119	80	0.04511
7	0.00000	31	0.09924	56	0.04511	81	0.03609
8	0.00000	32	0.03609	57	0.03609	82	0.13532
9	0.03609	33	0.05413	58	0.01804	83	0.07217
10	0.00902	34	0.07217	59	0.02706	84	0.03206
11	0.02706	35	0.04511	60	0.03609	85	0.07217
12	0.00902	36	0.09022	61	0.01804	86	0.04511
13	0.00902	37	0.02706	62	0.00902	87	0.25248
14	0.04511	38	0.00902	63	0.18536	88	0.04511
15	0.02706	39	0.09022	64	0.06315	89	0.03609
16	0.10138	40	0.11728	65	0.52569	90	0.02706
17	0.00902	41	0.07634	66	0.05413	91	0.06315
18	0.01804	42	0.05413	67	0.03609	92	0.07217
19	0.01804	43	0.07217	68	0.04511	93	0.06315
20	0.03609	44	0.01804	69	0.01804	94	0.02706
21	0.07217	45	0.13532	70	0.02706	95	0.06315
22	0.04511	46	0.10826	71	0.00902	96	0.08119
23	0.11728	47	0.09022	72	0.02706	97	0.03609
24	0.06315	48	0.14371	73	0.00902	98	0.04511
25	0.02706	49	0.13532	74	0.02706	99	0.03609
		50	0.09924	75	0.07217	<b>Total</b>	<b>5.817</b>

**Definición de los datos para la modelización****Configuración de elementos hidráulicos**

Este proceso consiste en asignación de la topología de la red, de elementos vectoriales a elementos hidráulicos mediante el proceso de asignación de elementos vectoriales de QGIS a elementos Hidráulicos en QWATER, para el modelamiento hidráulico.

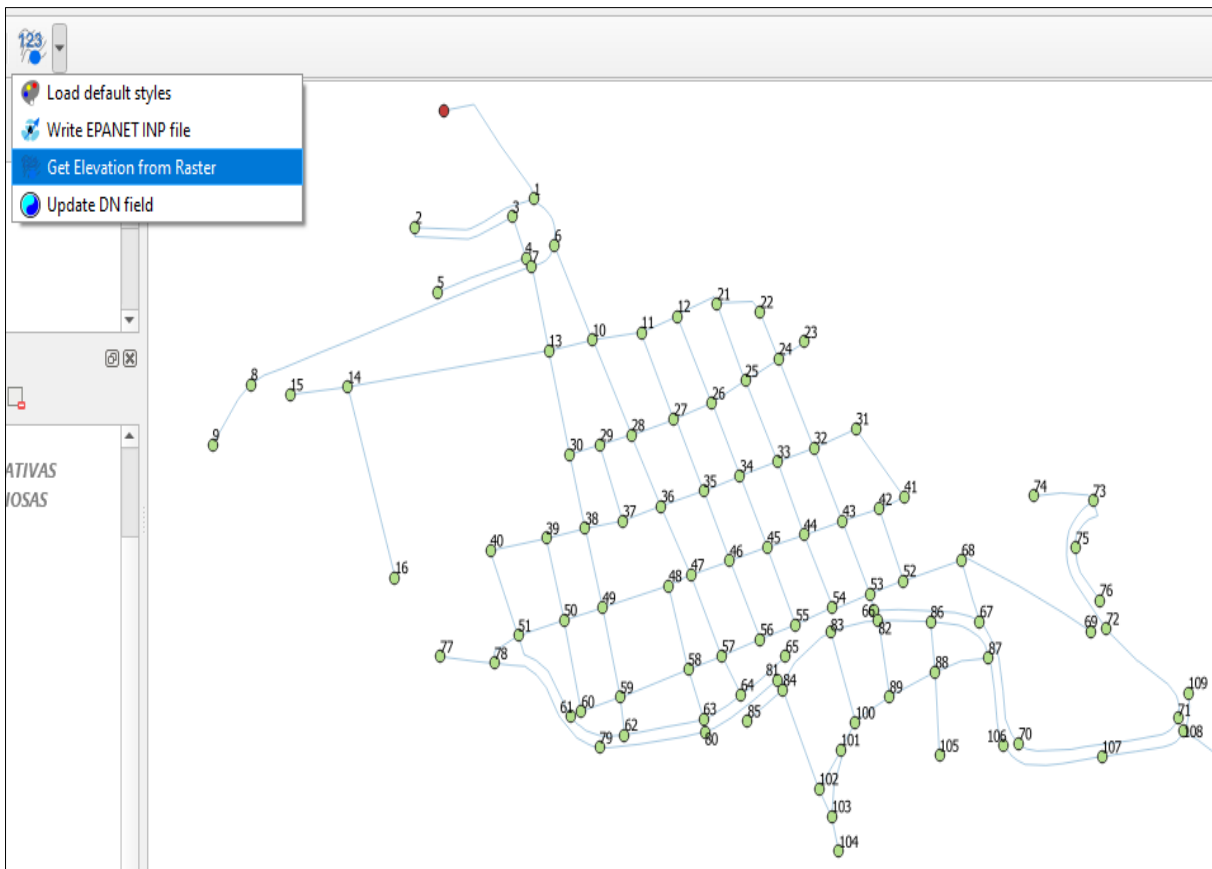
La red mostrada está compuesta por 99 nodos y un reservorio.



**Figura 16.** Configuración de Elementos Vectoriales como Elementos Hidráulicos

### Asignación de la elevación a los elementos hidráulicos

La asignación de la elevación al reservorio, los nodos y las válvulas, se realiza automáticamente de DEM, mediante los comandos de QWATER.

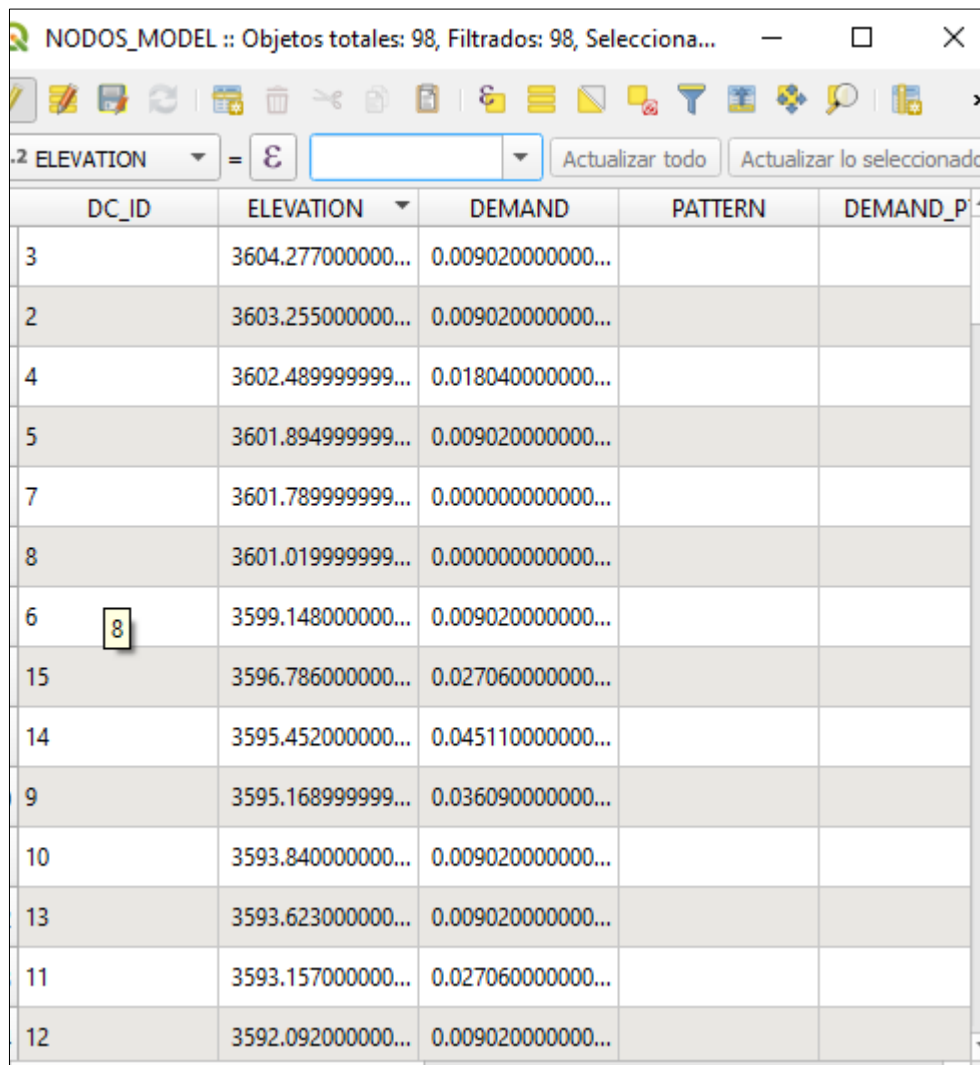


**Figura 17.** Asignación de las Elevaciones a los Nodos, a partir del DEM

## Asignación de los caudales a los nodos

La asignación de los caudales de consumo a los nodos, es digitar directamente en la columna de demanda en la tabla de propiedades de los nodos.

Para asignar los caudales de demanda en los nodos, en la columna de demanda, se digita el caudal de demanda horaria calculado anteriormente.



DC_ID	ELEVATION	DEMAND	PATTERN	DEMAND_P
3	3604.277000000...	0.009020000000...		
2	3603.255000000...	0.009020000000...		
4	3602.489999999...	0.018040000000...		
5	3601.894999999...	0.009020000000...		
7	3601.789999999...	0.000000000000...		
8	3601.019999999...	0.000000000000...		
6	3599.148000000...	0.009020000000...		
15	3596.786000000...	0.027060000000...		
14	3595.452000000...	0.045110000000...		
9	3595.168999999...	0.036090000000...		
10	3593.840000000...	0.009020000000...		
13	3593.623000000...	0.009020000000...		
11	3593.157000000...	0.027060000000...		
12	3592.092000000...	0.009020000000...		

**Figura 18.** Asignación de los Caudales de Consumo en los Nodos

### Configuración de las tuberías

El programa calcula automáticamente la longitud escalar de la tubería a partir del DEM, para asignar el coeficiente de fricción de las tuberías, se realiza directamente en la tabla de propiedades del elemento tubería de acuerdo al método de cálculo de pérdidas de carga de tuberías elegido.

Para la asignación de los diámetros, en la columna diámetros, se ingresa el diámetro interno de las tuberías.

**Tabla 13**

*Diámetros Comerciales de Tubería PVC SAP C-10*

<b>Diámetro Nominal (pulg.)</b>	<b>diámetro Real (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Diámetro Interior (mm)</b>
1/2"	21	1.8	17.4
3/4"	26.5	1.8	22.9
1"	33	1.8	29.4
1 1/4"	42	2	38
1 1/2"	48	2.3	43.4
2"	60	2.9	54.2
2 1/2"	73	3.5	66
3"	88.5	4.2	80.1
4"	114	5.4	103.2

*Nota.* Tomado de NTP 399.002 :2009

Para asignar la rugosidad de la tubería, se tiene que tener en cuenta el material de la tubería y el método de cálculo de las pérdidas de carga, para el presente estudio, **el material de tubería es PVC**, y el método de **cálculo de las pérdidas de cara es Darcy – Weisbach**, por lo que la rugosidad asignada es de 0.0015

TUBERIAS\_MODEL :: Objetos totales: 136, Filtrados: 136, Seleccionados: 0

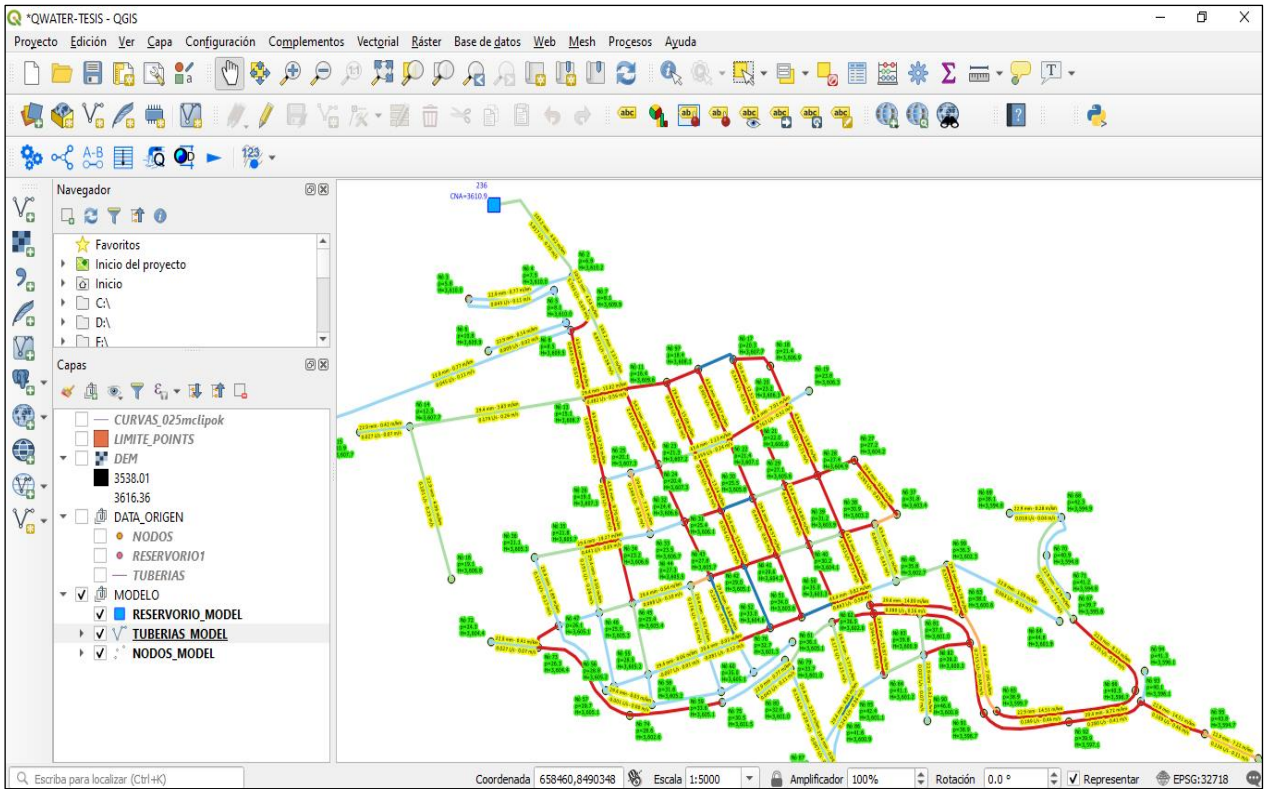
	DC_ID	NODE1	NODE2	LENGTH	DIAMETER	ROUGHNESS
1	100	236	2	158.8124980362...	103.2000000000...	0.001500000000...
2	101	2	3	153.9956408642...	22.8999999999...	0.001500000000...
3	102	3	4	135.4524828625...	22.8999999999...	0.001500000000...
4	103	4	5	43.64994208327...	22.8999999999...	0.001500000000...
5	104	5	6	116.0686089357...	22.8999999999...	0.001500000000...
6	105	2	7	56.96831196149...	103.2000000000...	0.001500000000...
7	106	7	8	37.14633266045...	43.3999999999...	0.001500000000...
8	107	8	9	370.4076484726...	22.8999999999...	0.001500000000...
9	108	9	10	76.63920260222...	22.8999999999...	0.001500000000...
10	109	8	13	84.91010731555...	43.3999999999...	0.001500000000...
11	110	13	11	55.83765726158...	29.3999999999...	0.001500000000...
12	111	11	12	61.22873409289...	54.2000000000...	0.001500000000...
13	112	13	14	254.1946859074...	29.3999999999...	0.001500000000...
14	113	14	15	72.46070645249...	22.8999999999...	0.001500000000...
15	114	14	16	195.5217765116...	22.8999999999...	0.001500000000...

Mostrar todos los objetos espaciales

**Figura 19.** Asignación de diámetros comerciales y Rugosidad de las tuberías

### Modelización de la red de distribución de agua potable

Una vez configurado todos los datos en los elementos hidráulicos, se realiza el proceso de diseño con el software QGIS y su complemento QWATER, los cuales se presenta a continuación.



**Figura 20.** Resultados del Modelamiento Hidráulico del estudio

**Tabla 14**

*Resultados del Modelamiento Hidráulico del Reservorio*

DC_ID	HEAD	RESULT_DEM	RESULT_HEA	RESULT_PRE
R-1	3610.9	-5.817	3610.90	0.000

**Tabla 15**

*Resultados del Modelamiento Hidráulico de las Tuberías*

DC_ID	NODE1	NODE2	LENGTH	DIAMETER	ROUGHNESS	RESULT FLOW	RESULT VELOC	RESULT HEAD
100	236	2	158.81	103.20	0.0015	5.8166	0.695	4.614
101	2	3	154.00	22.90	0.0015	0.0451	0.109	0.775
102	3	4	135.45	22.90	0.0015	0.0361	0.088	0.556
103	4	5	43.65	22.90	0.0015	0.0180	0.044	0.280
104	5	6	116.07	22.90	0.0015	0.0090	0.022	0.138
105	2	7	56.97	103.20	0.0015	5.7625	0.689	4.540
106	7	8	37.15	43.40	0.0015	0.7701	0.521	8.037
107	8	9	370.41	22.90	0.0015	0.0451	0.110	0.775

108	9	10	76.64	22.90	0.0015	0.0090	0.022	0.140
109	8	13	84.91	43.40	0.0015	0.7250	0.490	7.232
110	13	11	55.84	29.40	0.0015	-0.2992	0.441	9.809
111	11	12	61.23	54.20	0.0015	1.7180	0.745	11.473
112	13	14	254.19	29.40	0.0015	0.1735	0.256	3.833
113	14	15	72.46	22.90	0.0015	0.0271	0.066	0.419
114	14	16	195.52	22.90	0.0015	0.1014	0.246	4.964
115	24	23	55.32	43.40	0.0015	0.7002	0.473	6.801
116	23	22	50.17	43.40	0.0015	0.5279	0.357	4.153
117	22	21	46.95	43.40	0.0015	0.8483	0.573	9.529
118	21	20	47.32	43.40	0.0015	0.7639	0.516	7.926
119	20	19	35.71	22.90	0.0015	0.0180	0.044	0.275
120	17	21	83.11	29.40	0.0015	0.3020	0.445	9.971
121	17	18	58.28	29.40	0.0015	0.3275	0.482	11.476
122	18	20	51.41	29.40	0.0015	0.3094	0.456	10.403
123	24	25	40.62	43.40	0.0015	0.4838	0.327	3.569
124	25	26	38.80	29.40	0.0015	0.1840	0.271	4.235
125	24	32	78.87	54.20	0.0015	1.7010	0.737	11.269
126	23	31	79.43	29.40	0.0015	0.3488	0.514	12.809
127	22	30	79.40	29.40	0.0015	0.3751	0.553	14.545
128	21	29	88.61	29.40	0.0015	0.3142	0.463	10.682
129	20	28	97.69	43.40	0.0015	1.0192	0.689	13.160
130	25	33	79.72	29.40	0.0015	0.2728	0.402	8.356
131	26	34	74.69	43.40	0.0015	0.7660	0.518	7.962
132	32	31	55.07	43.40	0.0015	0.8300	0.561	9.167
133	31	30	47.95	43.40	0.0015	0.7239	0.489	7.214
134	30	29	48.75	43.40	0.0015	0.5808	0.393	4.903
135	29	28	48.01	29.40	0.0015	0.3800	0.560	14.874
136	28	27	55.82	29.40	0.0015	0.3363	0.495	12.014
137	32	33	50.01	29.40	0.0015	-0.1020	0.150	1.553
138	33	34	47.70	29.40	0.0015	0.1167	0.172	1.947
139	34	35	49.92	29.40	0.0015	0.4376	0.645	19.033
140	35	36	70.87	29.40	0.0015	0.2038	0.300	5.048
141	32	43	76.93	43.40	0.0015	0.9368	0.633	11.344
142	43	42	50.35	29.40	0.0015	0.3465	0.510	12.662
143	42	41	48.77	29.40	0.0015	0.4210	0.620	17.790
144	41	40	47.30	43.40	0.0015	0.5237	0.354	4.091
145	40	39	50.35	43.40	0.0015	0.5391	0.364	4.309
146	39	38	47.03	29.40	0.0015	0.3911	0.576	15.638
147	37	38	34.02	29.40	0.0015	0.2551	0.376	7.437
148	43	44	29.98	29.40	0.0015	0.2691	0.396	8.162
149	44	45	85.57	29.40	0.0015	0.0722	0.106	0.664
150	45	46	49.60	29.40	0.0015	0.1559	0.230	3.187
151	46	47	59.29	29.40	0.0015	0.1407	0.207	2.676
152	27	37	89.88	29.40	0.0015	0.2821	0.416	8.862
153	28	39	79.95	43.40	0.0015	0.9817	0.664	12.316
154	29	40	79.03	29.40	0.0015	0.4339	0.639	18.749
155	30	41	77.60	29.40	0.0015	0.4461	0.657	19.682
156	31	42	75.86	29.40	0.0015	0.3557	0.524	13.254

157	34	45	80.57	29.40	0.0015	0.3728	0.549	14.386
158	35	46	82.92	29.40	0.0015	0.1887	0.278	4.426
159	36	47	90.27	29.40	0.0015	0.1136	0.167	1.860
160	47	73	45.21	22.90	0.0015	0.1985	0.482	15.728
161	43	53	88.35	29.40	0.0015	0.2490	0.367	7.139
162	53	52	50.91	29.40	0.0015	0.3093	0.456	10.389
163	52	51	46.77	29.40	0.0015	0.4733	0.697	21.827
164	51	50	49.08	43.40	0.0015	0.6681	0.452	6.271
165	50	49	50.97	43.40	0.0015	0.8700	0.588	9.957
166	49	48	43.03	29.40	0.0015	0.1259	0.185	2.214
167	53	54	43.98	29.40	0.0015	-0.0814	0.120	0.947
168	54	55	89.46	29.40	0.0015	-0.0061	0.009	0.057
169	55	56	50.48	29.40	0.0015	0.0182	0.027	0.083
170	56	57	13.79	29.40	0.0015	0.0688	0.101	0.605
171	38	48	76.28	43.40	0.0015	0.6371	0.431	5.767
172	40	50	79.57	29.40	0.0015	0.3012	0.444	9.924
173	41	51	83.90	29.40	0.0015	0.2670	0.393	8.050
174	42	52	85.74	29.40	0.0015	0.2271	0.335	6.089
175	44	54	85.25	29.40	0.0015	0.1789	0.263	4.040
176	45	55	90.46	29.40	0.0015	0.1539	0.227	3.123
177	46	56	92.19	29.40	0.0015	0.0957	0.141	1.395
178	47	57	107.92	29.40	0.0015	-0.0344	0.051	0.201
179	55	58	37.01	29.40	0.0015	0.0485	0.071	0.273
180	54	59	52.02	29.40	0.0015	0.0584	0.086	0.372
181	53	60	44.84	29.40	0.0015	-0.0059	0.009	0.033
182	57	58	72.14	29.40	0.0015	-0.0017	0.003	0.033
183	58	59	99.78	29.40	0.0015	0.0287	0.042	0.143
184	59	60	52.64	29.40	0.0015	0.0600	0.088	0.396
185	60	61	67.65	22.90	0.0015	0.0180	0.044	0.277
186	62	63	133.19	29.40	0.0015	0.3804	0.560	14.902
187	63	65	133.27	43.40	0.0015	0.7151	0.483	7.058
188	65	66	209.00	22.90	0.0015	0.1895	0.460	14.544
189	66	67	132.04	22.90	0.0015	0.1353	0.329	8.129
190	67	68	155.53	22.90	0.0015	0.0992	0.241	4.787
191	68	69	76.35	22.90	0.0015	0.0180	0.044	0.277
192	68	70	62.17	22.90	0.0015	0.0361	0.088	0.555
193	70	71	61.23	22.90	0.0015	0.0090	0.022	0.141
194	73	72	68.16	22.90	0.0015	0.0271	0.066	0.415
195	73	74	165.51	22.90	0.0015	0.1624	0.394	11.122
196	74	75	133.17	22.90	0.0015	0.1353	0.329	8.132
197	75	76	104.06	22.90	0.0015	0.0632	0.153	1.988
198	62	77	11.10	43.40	0.0015	1.2589	0.851	19.121
199	77	78	61.01	29.40	0.0015	0.3976	0.586	16.100
200	78	79	87.06	29.40	0.0015	0.1898	0.280	4.469
201	79	80	53.89	22.90	0.0015	0.0451	0.110	0.773
202	77	81	65.39	29.40	0.0015	0.4668	0.688	21.314
203	81	82	87.91	29.40	0.0015	0.2745	0.404	8.444
204	82	83	68.49	29.40	0.0015	-0.2758	0.406	8.522
205	83	84	62.07	29.40	0.0015	-0.2188	0.322	5.706



206	84	85	49.61	29.40	0.0015	0.1435	0.211	2.766
207	85	86	32.40	29.40	0.0015	0.2432	0.358	6.854
208	86	87	46.90	29.40	0.0015	0.1098	0.162	1.752
209	81	83	49.56	29.40	0.0015	0.1563	0.230	3.201
210	83	90	81.82	22.90	0.0015	0.0271	0.066	0.418
211	77	84	75.49	29.40	0.0015	0.3944	0.581	15.871
212	78	85	93.72	29.40	0.0015	0.1718	0.253	3.767
213	79	87	106.71	29.40	0.0015	0.1356	0.200	2.513
214	87	88	31.18	29.40	0.0015	-0.0071	0.010	0.038
215	88	89	35.61	22.90	0.0015	0.0361	0.088	0.560
216	86	88	68.47	29.40	0.0015	0.0883	0.130	1.182
217	82	91	88.44	29.40	0.0015	0.4150	0.611	17.344
218	91	92	129.55	29.40	0.0015	0.3518	0.518	13.005
219	92	93	107.98	29.40	0.0015	0.2797	0.412	8.725
220	93	94	39.66	22.90	0.0015	0.0271	0.066	0.420
221	93	95	100.17	22.90	0.0015	0.1895	0.460	14.512
222	7	11	103.93	103.20	0.0015	4.9924	0.597	3.511
223	12	97	47.90	54.20	0.0015	1.4152	0.613	8.140
224	97	17	58.06	43.40	0.0015	0.6385	0.432	5.788
225	13	26	105.05	43.40	0.0015	0.8416	0.569	9.393
226	11	24	104.93	54.20	0.0015	2.9482	0.862	11.676
227	12	23	94.60	29.40	0.0015	0.2938	0.433	9.502
228	97	22	95.61	43.40	0.0015	0.7406	0.501	7.503
229	39	49	79.27	43.40	0.0015	1.0395	0.703	13.627
230	49	62	17.41	54.20	0.0015	1.6483	0.714	10.653
231	95	98	82.73	22.90	0.0015	0.1263	0.307	7.224
232	98	96	92.16	22.90	0.0015	0.0812	0.197	3.404
233	48	99	75.88	43.40	0.0015	0.6193	0.419	5.488
234	99	63	64.38	29.40	0.0015	0.5201	0.766	25.761
235	99	64	177.77	22.90	0.0015	0.0632	0.153	1.991

**Tabla 16**

*Resultados del Modelamiento Hidráulico en los Nodos*

DC_ID	ELEVATION	DEMAND	RESULT DEMAND	RESULT HEAD	RESULT PRESSUR
10	3593.840	0.0090	0.0090	3609.226	15.39
11	3593.157	0.0271	0.0271	3609.559	16.40
12	3592.092	0.0090	0.0090	3608.602	16.51
13	3593.623	0.0090	0.0090	3608.720	15.10
14	3595.452	0.0451	0.0451	3607.746	12.29
15	3596.786	0.0271	0.0271	3607.716	10.93
16	3587.709	0.1014	0.1014	3606.775	19.07
17	3587.342	0.0090	0.0090	3607.682	20.34
18	3585.516	0.0180	0.0180	3606.899	21.38
19	3582.434	0.0180	0.0180	3606.258	23.82

2	3603.255	0.0090	0.0090	3610.167	6.91
20	3583.037	0.0361	0.0361	3606.268	23.23
21	3584.639	0.0722	0.0722	3606.642	22.00
22	3585.659	0.0451	0.0451	3607.068	21.41
23	3585.856	0.1173	0.1173	3607.175	21.32
24	3586.990	0.0632	0.0632	3607.349	20.36
25	3587.229	0.0271	0.0271	3607.282	20.05
26	3588.211	0.2596	0.2596	3607.277	19.07
27	3576.985	0.0541	0.0541	3604.232	27.25
28	3577.541	0.0812	0.0812	3604.913	27.37
29	3578.489	0.0812	0.0812	3605.592	27.10
3	3604.277	0.0090	0.0090	3610.048	5.77
30	3580.334	0.0722	0.0722	3605.810	25.48
31	3580.744	0.0992	0.0992	3606.115	25.37
32	3582.170	0.0361	0.0361	3606.557	24.39
33	3583.178	0.0541	0.0541	3606.667	23.49
34	3583.384	0.0722	0.0722	3606.623	23.24
35	3583.812	0.0451	0.0451	3605.661	21.85
36	3584.162	0.0902	0.0902	3605.299	21.14
37	3571.667	0.0271	0.0271	3603.421	31.75
38	3572.214	0.0090	0.0090	3603.163	30.95
39	3572.658	0.0902	0.0902	3603.898	31.24
4	3602.490	0.0180	0.0180	3609.972	7.48
40	3573.919	0.1173	0.1173	3604.106	30.19
41	3574.703	0.0763	0.0763	3604.291	29.59
42	3576.167	0.0541	0.0541	3605.119	28.95
43	3577.882	0.0722	0.0722	3605.723	27.84
44	3578.159	0.0180	0.0180	3605.490	27.33
45	3579.997	0.1353	0.1353	3605.444	25.45
46	3580.322	0.1083	0.1083	3605.288	24.97
47	3579.036	0.0902	0.0902	3605.129	26.09
48	3566.894	0.1437	0.1437	3602.719	35.83
49	3566.970	0.1353	0.1353	3602.811	35.84
5	3601.895	0.0090	0.0090	3609.960	8.07
50	3568.269	0.0992	0.0992	3603.312	35.04
51	3569.615	0.0722	0.0722	3603.614	34.00
52	3571.615	0.0632	0.0632	3604.604	32.99
53	3574.573	0.0271	0.0271	3605.115	30.54
54	3575.897	0.0451	0.0451	3605.156	29.26
55	3576.667	0.0812	0.0812	3605.162	28.49
56	3576.399	0.0451	0.0451	3605.157	28.76
57	3575.468	0.0361	0.0361	3605.149	29.68
58	3573.564	0.0180	0.0180	3605.151	31.59
59	3571.548	0.0271	0.0271	3605.137	33.59
6	3599.148	0.0090	0.0090	3609.944	10.80
60	3570.087	0.0361	0.0361	3605.116	35.03
61	3569.005	0.0180	0.0180	3605.098	36.09
62	3566.158	0.0090	0.0090	3602.626	36.47
63	3562.583	0.1854	0.1854	3600.643	38.06

---

64	3557.141	0.0632	0.0632	3601.949	44.81
65	3560.809	0.5257	0.5257	3599.702	38.89
66	3556.195	0.0541	0.0541	3596.669	40.47
67	3555.921	0.0361	0.0361	3595.595	39.67
68	3552.549	0.0451	0.0451	3594.851	42.30
69	3556.768	0.0180	0.0180	3594.830	38.06
7	3601.790	0.0000	0.0000	3609.909	8.12
70	3553.946	0.0271	0.0271	3594.817	40.87
71	3553.597	0.0090	0.0090	3594.808	41.21
72	3580.056	0.0271	0.0271	3604.389	24.33
73	3578.100	0.0090	0.0090	3604.417	26.32
74	3573.929	0.0271	0.0271	3602.577	28.65
75	3570.967	0.0722	0.0722	3601.494	30.53
76	3568.550	0.0632	0.0632	3601.287	32.74
77	3565.399	0.0000	0.0000	3602.414	37.01
78	3567.060	0.0361	0.0361	3601.431	34.37
79	3567.377	0.0090	0.0090	3601.042	33.66
8	3601.020	0.0000	0.0000	3609.523	8.50
80	3568.222	0.0451	0.0451	3601.001	32.78
81	3563.906	0.0361	0.0361	3601.020	37.11
82	3561.039	0.1353	0.1353	3600.278	39.24
83	3561.108	0.0722	0.0722	3600.861	39.75
84	3560.083	0.0321	0.0321	3601.216	41.13
85	3558.653	0.0722	0.0722	3601.078	42.43
86	3559.222	0.0451	0.0451	3600.856	41.63
87	3558.791	0.2525	0.2525	3600.774	41.98
88	3557.907	0.0451	0.0451	3600.775	42.87
89	3556.702	0.0361	0.0361	3600.755	44.05
9	3595.169	0.0361	0.0361	3609.237	14.07
90	3554.196	0.0271	0.0271	3600.827	46.63
91	3559.801	0.0632	0.0632	3598.744	38.94
92	3557.202	0.0722	0.0722	3597.059	39.86
93	3556.029	0.0632	0.0632	3596.117	40.09
94	3554.823	0.0271	0.0271	3596.100	41.28
95	3550.900	0.0632	0.0632	3594.663	43.76
96	3541.880	0.0812	0.0812	3593.751	51.87
97	3589.665	0.0361	0.0361	3608.089	18.42
98	3546.744	0.0451	0.0451	3594.066	47.32
99	3565.996	0.0361	0.0361	3602.303	36.31

---

## **V. DISCUSIÓN**

### **Análisis de la demanda**

Según el padrón poblacional al año 2020, la localidad de Nueva Esperanza tiene una población de 1,853 habitantes y 523 viviendas habitadas por lo tanto presenta una densidad poblacional de 3.54 hab/vivienda.

La tasa de crecimiento de la población la localidad de Nueva Esperanza es negativa, por lo que para fines de cálculo se utiliza una tasa de crecimiento de 0%.

También se identificaron 10 usuarios no domésticos, entre locales estatales, sociales, y comunales.

En las redes de distribución, el caudal de diseño es el caudal máximo horario (Qmh), dicho caudal es de 5.817 l/s.

### **Análisis de la topología de la red de distribución**

La topología de la red de distribución, está compuesta de 01 reservorio, 99 nodos y 136 tramos de la red, de los cuales 30 tramos son ramales y el resto redes cerradas, por lo que se considera una red de distribución mixta.

### **Análisis de presiones en la red de distribución**

Las presiones de diseño para sistemas de saneamiento en el ámbito rural de acuerdo al R.M. 192 – 2018 Vivienda, Norma Técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural son las siguientes:

El rango de presión mínima de cobertura en cualquier punto de la red y punto de conexión de agua no será menor de 5 - 8 m.c.a. y de 40 - 50 m.c.a será el límite superior de la presión estática de servicio.

Después del modelamiento Hidráulico de las redes de distribución de agua Potable en la localidad de Nueva Esperanza, se tiene las siguientes presiones:



**Figura 21.** Histograma de Presiones en los Nodos de la Red de Distribución

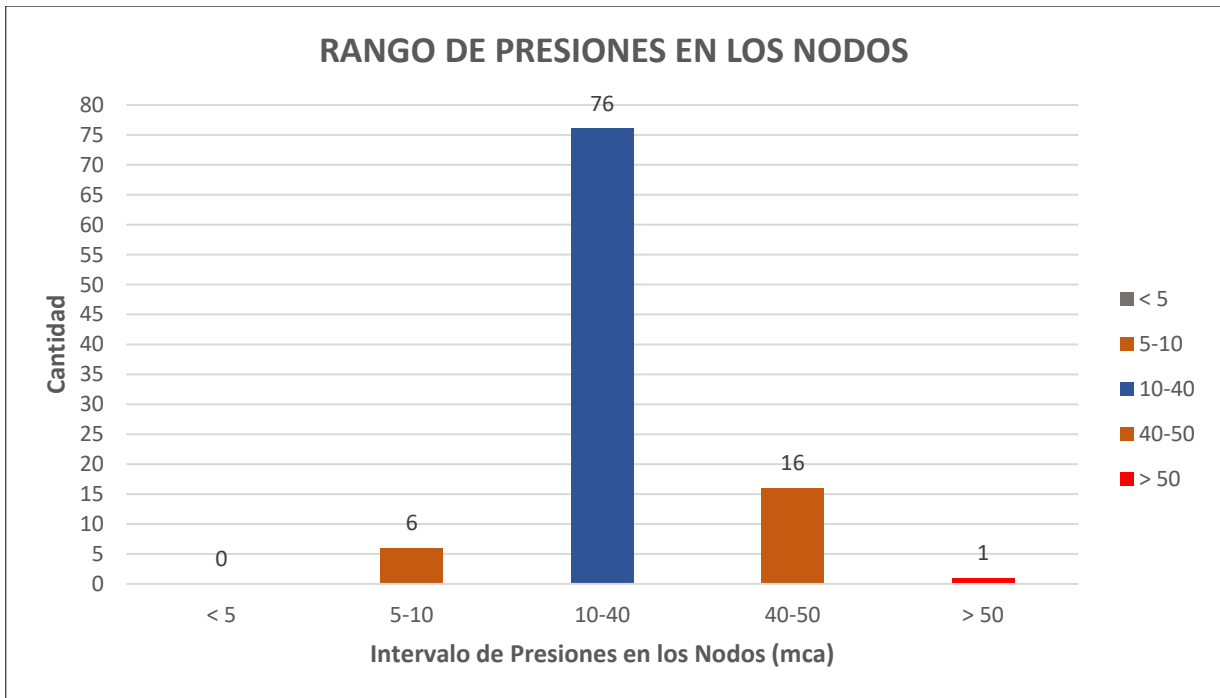
*Nota.* Las presiones en los nodos, tienen apariencia de una escalera, porque la numeración asignada fue de izquierda a derecha y de norte a sur.

De acuerdo a la figura 21, se puede observar que algunos nodos, presentan presiones mayores de 5 mca y menores que 10mca, pero todavía se encuentran dentro de presiones aceptados para sistemas de saneamiento rural.

También se observa que hay varios nodos que presentan presiones en el rango de 40 a 50 mca, los cuales aún se encuentran dentro del rango permisible.

Se observa un nodo por encima de los mca, por lo que se encuentra fuera de la máxima presión permisible, por lo que se acepta dicha presión por que la clase de tubería de diseño es de C-10, que tiene un trabajo hidráulico aceptable hasta los 75 mca además es solo un nodo el que sobrepasa la presión de diseño.

Como se observa en el grafico anterior, la mayoría de los nodos tienen una presión optima, es decir dentro del rango de 10 a 40 mca.



**Figura 22.** Rango de Presiones en los Nodos

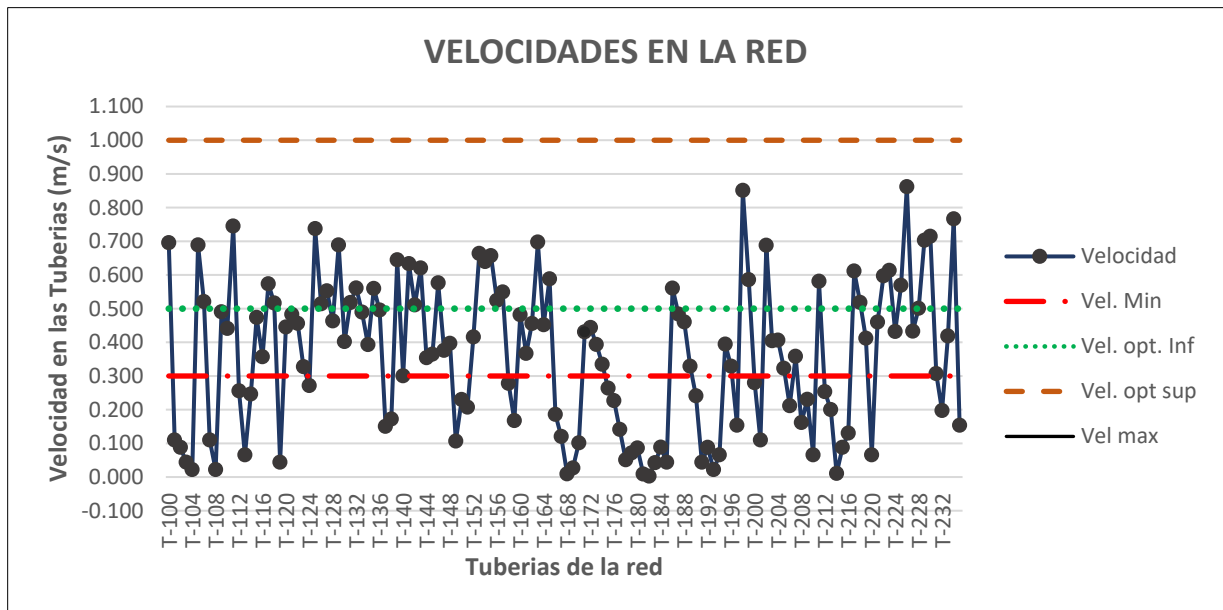
De acuerdo a la figura 22, no se tiene ningún nodo con presión por debajo de la presión mínima permisible (<5 mca) y solo un nodo se encuentra por encima de la presión máxima permisible (>50 mca), por lo que el 99% de las presiones de los nodos en el presente estudio, se encuentran dentro del rango permisible de las presiones de diseño.

### **Análisis de Velocidades en la Red de distribución**

Las Velocidades de diseño para sistemas de saneamiento en el ámbito rural de acuerdo al R.M. 192 – 2018 Vivienda, Norma Técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural son las siguientes:

La velocidad mínima de diseño, de ninguna manera podrá ser inferior a 0,30 m/s, siendo recomendable un trecho de velocidad de 0,5 – 1,00 m/s, además será de 3 m/s la velocidad máxima admisible.

Los resultados del modelamiento Hidráulico de las redes de distribución de agua Potable en la Localidad de Nueva Esperanza, se tiene las siguientes presiones:

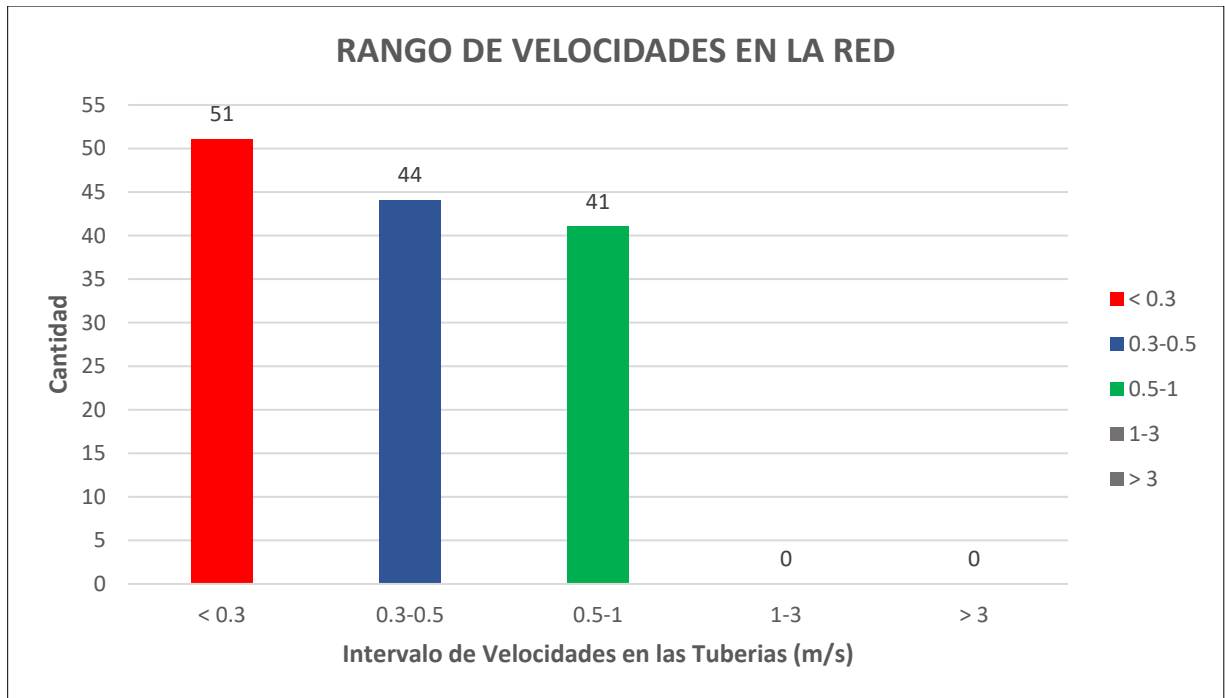


**Figura 23.** Histograma de Velocidades en las Tuberías de la Red de Distribución

Como se puede observar en la figura 23, las velocidades resultantes de la modelación de la red de distribución son bajas, esto se debe a que las caudales demandados que fluyen por las tuberías es pequeña cantidad, por lo que proponiendo hasta el mínimo diámetro permitido, aun así, la velocidad se presenta por debajo de las velocidades mínimas de diseño permitidas.

De acuerdo a la gráfica anterior, una buena cantidad de tuberías presentan velocidades por debajo de la mínima permitida ( $< 0.3 \text{ m/s}$ ) para el diseño de sistemas de distribución en el ámbito rural.

Ninguna de los tramos de la red, no sobrepasa siquiera la velocidad  $> a 1 \text{ m/s}$ .



**Figura 24.** Rango de Velocidades en los Tramos de la Red de Distribución

Según el gráfico 24, se puede apreciar que el 38% de los tramos de la red de distribución, presentan velocidades menores a las mínimas permisibles (0.3m/s), esto se debe a que en el ámbito rural el caudal que fluye por las tuberías es de pequeña cantidad, por eso las velocidades son pequeñas aun con diámetros mínimas permisibles.

El 32% de los tramos de la red, presenta velocidades en el rango de 0.3 a 0.5 m/s, que aún siguen siendo pequeñas, pero son aceptables para sistemas de diseño en el ámbito Rural.

Solo el 30% de los tramos de la red, presenta velocidades dentro del rango óptimo.

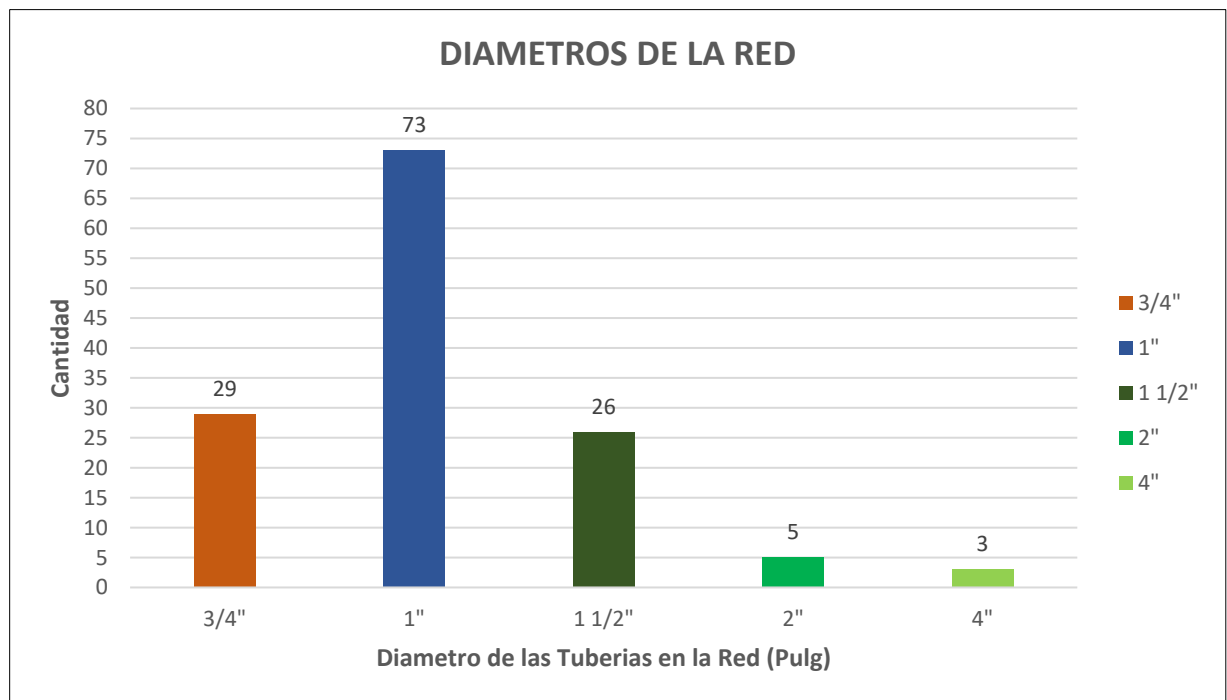


### Análisis de los diámetros de los tramos de la red de distribución

Los diámetros mínimos de diseño para sistemas de saneamiento en el ámbito rural de acuerdo al R.M. 192 – 2018 Vivienda, Norma Técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural son las siguientes:

- El diámetro adecuado será aquel que asegure la cobertura del caudal y optima presión en cualquier zona de cobertura hidráulica.
- Diámetro de 25 mm (1"), será el mínimo para tuberías cíclicas y para redes arbóreas el mínimo será de 20 mm ( $\frac{3}{4}$ ").

Además, la clase de Tubería PVC según NTP 399.002 para redes de distribución de agua potable, es de clase 10.



**Figura 25.** Diámetros de las Tuberías en los Tramos de la Red de Distribución

De acuerdo al cuadro anterior, la red de distribución cuenta con 136 tramos, de los cuales 73 tramos presentan diámetro nominal de 1", que es además el diámetro mínimo para redes de distribución cerradas.

También presenta 29 tramos con diámetro de  $\frac{3}{4}$ ", dicho diámetro es el mínimo para los ramales.

De 136 tramos de la red de distribución, 102 tramos (75%), está compuesta por tuberías de diámetros mínimos, esto porque los caudales que fluyen por los tramos son pequeños, típico de saneamiento en el ámbito rural.

## VI. CONCLUSIONES

- Se ha realizado el modelamiento hidráulico de las redes de distribución de agua potable de la localidad de Nueva Esperanza en la plataforma SIG, con el programa Libre QGIS y su complemento QWATER, el método para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías fue de Darcy-Weisbach, las presiones en los nodos se encuentran dentro de las presiones óptimas de servicio de acuerdo a la norma técnica vigente, el 38% de las velocidades del total de los tramos de la red de distribución, se encuentran por debajo de la velocidad mínima admisible ( $< 0.3$  m/s), esto se debe a que los caudales que fluyen por los tramos es muy pequeña aun cuando se propone los diámetros mínimos de diseño.
- La población de diseño fue de 1,853 habitantes con una tasa de crecimiento de 0%.
- Se ha identificado 523 viviendas habitadas y muchos otros no habitadas según el padrón y conteo de viviendas, además la densidad de la localidad es de 3.54 hab/vivienda, se determinó 10 usuarios no doméstico entre locales estatales y sociales.
- La dotación optada para la localidad de Nueva Esperanza fue de 100l/hab/día, ya que la localidad cuenta con sistema de desagüe en funcionamiento y por recomendación de funcionarios de ministerio de Vivienda.
- La Topología de la red de distribución, está compuesta de 01 reservorio, 99 nodos y 136 tramos de la red, de los cuales 30 tramos son ramales y el resto redes cerradas, por lo que se considera una red de distribución mixta.
- No se tiene ningún nodo con presión por debajo de la presión mínima permisible ( $< 5$  mca) y solo un nodo se encuentra por encima de la presión máxima permisible ( $> 50$  mca), por lo que el 99% de las presiones de los nodos en el presente estudio, se encuentran dentro del rango permisible de las presiones de diseño.
- Se tiene que el 38% de los tramos de la red de distribución, presentan velocidades menores a las mínimas permisibles (0.3m/s), esto se debe a que en el ámbito rural el caudal que fluye por las tuberías es de pequeñísima cantidad,

por eso las velocidades son pequeñas aun con diámetros mínimos permisibles, el 32% de los tramos de la red, presenta velocidades en el rango de 0.3 a 0.5 m/s, que aún siguen siendo pequeñas, pero son aceptables para sistemas de diseño en el ámbito Rural, solo el 30% de los tramos de la red, presenta velocidades dentro del rango óptimo.

- La red de distribución cuenta con 136 tramos, de los cuales 73 tramos presentan diámetro nominal de 1", que es además el diámetro mínimo para redes de distribución cerradas, también presenta 29 tramos con diámetro de ¾", dicho diámetro es el mínimo para los ramales, de 136 tramos de la red de distribución, 102 tramos (75%), está compuesta por tuberías de diámetros mínimos, esto porque los caudales que fluyen por los tramos son pequeños, típico de saneamiento en el ámbito rural, la red de aducción que corresponde al tramo de la salida del reservorio y el primer tee de distribución fue considerado de un diámetro nominal de 4".

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de QGIS y su complemento Qwater para el modelamiento hidráulico de las redes de distribución de agua potable, ya que es un software de uso libre y de código abierto a la comparación de softwares de mayor uso para este tipo de diseño como el watercad que es de uso comercial y que muchas veces limita su uso por su costo alto para la adquisición de licencia de uso.
- Se recomienda el uso de UAV o VANT (drones) para los trabajos de levantamiento topográfico, si se va a realizar el diseño mediante herramientas SIG, ya que con dicho equipo se realiza la mejor manera la representación fisiográfica del terreno y óptimo para generar el MDT (Modelo digital del terreno) que contiene los datos de las características del terreno natural Vectorizados.
- Se recomienda realizar el diseño en periodo extendido para conocer el comportamiento dinámico de las presiones en los nodos de la red de distribución de agua potable.
- Se recomiendo el uso del complemento Qwater en el diseño de las redes de distribución de agua, para zonas planas o con pequeño desnivel que no requiera válvulas rompe presión y/o válvulas reductoras de presión, ya que la implementación de dichas estructuras hidráulicas en el software hasta la presente versión, presenta herramientas limitados y complejos de representar para la modelación.

## REFERENCIAS

**Aguirre F. (2015).** Abastecimiento de Agua Potable para Comunidades Rurales. 1ra edición, Universidad Técnica de Machala - Ecuador. 145 pp.

**Córdova, R y Zelaya, W. (2017).** Generación de un modelo de simulación para la optimización de redes de agua potable de las ciudades de Huaraz e independencia provincia Huaraz-Ancash. Tesis para optar el título de Ingeniero Sanitario. Universidad Nacional Santiago Antúnez. Huaraz – Perú. 228pp. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1961>

**Da Silva Chosna, Fausto A. (2020).** Comparación de la delimitación de la microcuenca sabalillo con ArcGIS 10.3 y Qgis 2.18 mediante datos srtm y datos registrados en gps map 62sc en la reserva comunal Elsira – región Huánuco. Tesis para optar el título profesional de ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa – Perú. 64pp. Disponible en: [http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4433/UNU\\_FORESTAL\\_2020\\_T\\_FAUSTO-DA-SILVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4433/UNU_FORESTAL_2020_T_FAUSTO-DA-SILVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**Egea Góngora, Pedro A. (2013).** Optimización hidráulica de las redes de distribución de agua de riego dentro del sector 370 de la comunidad de usuarios de aguas de la comarca de Nijar (Almería) mediante el programa informático Epanet. Proyecto fin de master en ingeniería del agua y del terreno. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena – España. 67pp. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/3788>

**García Montalbán, Jaime (2019).** Proyecto básico de la infraestructura de redes de abastecimiento y saneamiento para un terreno urbanizable en Cartagena. Trabajo de fin de grado. Universidad Politécnica de Cartagena -España, 259.pp. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/8008>

**Jiménez Terán, José M. (2013).** Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. 1ra edición. Universidad Veracruzana – México. 209pp.

**Mena Céspedes, María José (2016).** Diseño de la red de distribución de agua potable de la parroquia el Rosario del cantón san Pedro de Pelileo, provincia de Tungurahua. Ecuador. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Universidad Técnica de Ambato, 204.pp. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24186/1/Tesis%201065%200%20Mena%20C%C3%A9spedes%20Mar%C3%ADa%20Jos%C3%A9.pdf>

**Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Norma Técnica de Diseño (2018).** Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural. Lima-Perú. s.n. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/275920-192-2018-vivienda>

**Ríos Varillas, Diego (2014).** Investigación de la disipación de energía en el modelo hidráulico del Proyecto Alto Piura. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Piura - Perú. 143pp. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2191/ICI\\_207.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2191/ICI_207.pdf)

**Rocha, Arturo (2007).** Hidráulica de tuberías y canales. 1a. ed. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. 538 pp.

**Saldarriaga, Juan (2007).** Hidráulica de tuberías, abastecimiento de agua, redes, riegos. Editorial alfa omega. 690pp.

**Segura Cayetano, Leoncio Ananías (2019).** Diseño hidráulico del sistema de abastecimiento de agua potable de la localidad de Chirchir, distrito de Condebamba - Cajamarca. Cajamarca – Perú. Tesis Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 106pp. Disponible en: <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/1161756>

**Tejeda Núñez, Carlos Enrique (2018).** Diseño hidráulico del sistema de suministro para el sistema de abastecimiento de agua potable para el caserío de Redención Nevati - Oxapampa. Pasco – Perú. Monografía Técnica Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 63pp. Disponible en: <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/1163118>

**Valenzuela, M. y Orrillo G. (2019).** Modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable en la localidad de Paucartambo - Cusco. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Lima - Perú. 213pp. Disponible en: [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628079/ValenzuelaP\\_M.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628079/ValenzuelaP_M.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

**CRICYT. (2009).** Red Hidrográfica. En línea: (Fecha de Consulta 22 de marzo del 2020) Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/RedHidro6.htm>

**Publicación Congreso Nacional del Agua - Orihuela.** La necesidad de renovación de las redes de distribución del agua potable: caso del municipio de Orihuela, Setiembre de 2018. (fecha de consulta 11 de marzo del 2021). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7007047> ISBN: 978-84-1302-034-1

**Revista agua y + (2016).** Lima: Autoridad Nacional del Agua, abril - 2016, n.º05 (Fecha de consulta: 23 de marzo del 2020). Disponible en [http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/revista\\_aguaymas\\_edicion\\_abril\\_2016\\_5ta\\_edicion.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/revista_aguaymas_edicion_abril_2016_5ta_edicion.pdf) ISSN 2415-0096

**Revista Nature Geoscience.** The global volumen and distribution of modern groundwater. Revista estadounidense científica [en línea]. 16 noviembre 2015, [s.n]. (Fecha de consulta: 30 de marzo del 2020). Disponible en



[https://www.nature.com/articles/ngeo2590.epdf?referrer\\_access\\_token=%20mlbha vMUPFVxr7Gq1K6detRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0OrpA\\_83Zy6uEfE1%20A\\_HbURob M4yh7xXxzRDKulKud%20%20yaEI4WMRS7KldbpEi86YQztRgFQB%20v8uyY5xk 7jOvrxxlyv1zkyfqm5fAkrF2k1A3gVr0Rc3114h34IM\\_LjC7gov0t%20qEZ6HETONLf h58dS37&tracking\\_referrer=elpais.com](https://www.nature.com/articles/ngeo2590.epdf?referrer_access_token=%20mlbha vMUPFVxr7Gq1K6detRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0OrpA_83Zy6uEfE1%20A_HbURob M4yh7xXxzRDKulKud%20%20yaEI4WMRS7KldbpEi86YQztRgFQB%20v8uyY5xk 7jOvrxxlyv1zkyfqm5fAkrF2k1A3gVr0Rc3114h34IM_LjC7gov0t%20qEZ6HETONLf h58dS37&tracking_referrer=elpais.com) ISSN: 1752-0894

**Revista geográfica de América central.** Sistemas de información geográfica y modelado hidráulico de redes de abastecimiento de agua potable: estudios de caso en la provincia de Guanacaste, Costa Rica, diciembre 2019. N° 63 (fecha de consulta 4 de marzo del 2021) Disponible en: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-25632019000200247&lang=es](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-25632019000200247&lang=es) ISSN: 1011-484X

**Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental.** La sectorización en redes de agua potable para mejorar su eficiencia hidráulica, agosto de 2016, vol.37 no.2 (fecha de consulta 5 de marzo del 2021). Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382016000200003&lang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000200003&lang=es) ISSN:1680-0338

**Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental.** Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México, abril del 2013, vol.34 no.1 (fecha de consulta 6 de marzo del 2021). Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382013000100009&lang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382013000100009&lang=es) ISSN: 1680-0338

**Revista Tecnología y ciencias del agua.** Metodología para caracterizar la eficiencia de una red de distribución sectorizada, agosto de 2017. vol.8 no.4 (fecha de consulta 7 de marzo del 2021) Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222017000400057&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222017000400057&lang=es) ISSN:2007-2422

**Revista Tecnología y ciencias del agua.** Influencia de la presión en roturas de tubería de redes de distribución, agosto de 2016. vol.7 no.4 (fecha de consulta 8 de marzo del 2021) Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222016000400025&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000400025&lang=es) ISSN: 2007-2422

**Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental.** Comparación entre diseños de redes cerradas para varios modelos de distribución de flujo, diciembre de 2012. vol.33 no.3 (fecha de consulta 8 de marzo del 2021). Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382012000300003&lang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382012000300003&lang=es) ISSN: 1680-0338

**Revista Tecnología y ciencias del agua.** Modelación de redes de distribución de agua con suministro intermitente, junio de 2012. vol.3 no.2 (fecha de consulta 9 de marzo del 2021). Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222012000200001&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000200001&lang=es) ISSN: 2007-2422

**Revista Tecnología y ciencias del agua.** Modelación de redes de agua potable con enfoques determinísticos y estocásticos, diciembre de 2010. vol.1 no.4 (fecha de consulta 10 de marzo del 2021). Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222010000400007&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222010000400007&lang=es) ISSN: 2007-2422

**Revista Tecnología y ciencias del agua.** Partición de la red de distribución de agua de una o varias fuentes basada en la teoría de grafos, mayo de 2020. vol.10 no.6 (fecha de consulta 10 de marzo del 2021). Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222019000600197&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222019000600197&lang=es) ISSN: 2007-2422

**Revista Tecnoaqua.** Monitorización de la calidad del agua en las redes de distribución de agua potable de tercera generación, agosto de 2020, nº. 41 (fecha

de consulta 10 de marzo del 2021). Disponible en:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7273014> ISSN: 2340-2091

**Publicación Congreso Nacional del Agua - Orihuela.** La necesidad de renovación de las redes de distribución del agua potable: caso del municipio de Orihuela, Setiembre de 2018. (fecha de consulta 11 de marzo del 2021). Disponible en:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7007047> ISBN: 978-84-1302-034-1

**Revista Riunet.** Sectorización de redes de abastecimiento de agua potable basada en detección de comunidades en redes sociales y optimización heurística, España 2017. (fecha de consulta 14 de marzo del 2021) Disponible en:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=156558>

**Revista Teseo.** Confección de modelos de redes de distribución de agua desde un Sig y desarrollo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones. España 2013. (fecha de consulta 16 de marzo del 2021) Disponible en:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=84615>

## ANEXOS

### Anexo1: Matriz de Consistencia

MODELAMIENTO HIDRAULICO DE REDES DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE MEDIANTE SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (QGIS) EN NUEVA ESPERANZA - APURIMAC, 2021				
PROBLEMA	OBJETIVO	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA
<b>Problema Principal</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>INDEPENDIENTE</b>	<b>INDICADORES DE V.I.</b>	<b>TIPO DE INVESTIGACION</b>
¿Se podrá generar un modelo de simulacion hidraulica de las redes de distribucion de agua potable mediante el empleo de Sistema de Informacion Geografica (QGIS) en la localidad de Nueva Esperanza cumpliendo con la normatividad vigente?	Efectuar el modelamiento hidraulico de las redes de distribucion de agua potable mediante Sistema de informacion Geografica (QGIS) en la localidad de Nueva Esperanza cumpliendo con la normatividad vigente	El caudal de diseño, la topografia y la topología de las redes de distribución	<ul style="list-style-type: none"> <li>* N° de habitantes</li> <li>* N° de viviendas</li> <li>* Tasa de crecimiento</li> <li>* Dotación</li> <li>* Plano catastral</li> <li>* Topografía</li> </ul>	- Aplicada o Tecnologica
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>DEPENDIENTE</b>	<b>INDICADORES DE V.D.</b>	<b>DISEÑO DE INVESTIGACION</b>
¿Es posible elaborar la cartografia y la topologia de la red de distribucion de agua potable mediante sistema de informacion geografica (QGIS) en la localidad de Nueva Esperanza?	Determinar la cartografia y la topologia de la red de distribucion de agua potable mediante sistema de informacion geografica (QGIS) en la Localidad de Nueva Esperanza	Modelamiento de las redes de distribución de agua potable	- Perdidas de carga en las tuberias	Diseño no experimental; transversal descriptivo, correlacional
¿Se podrá Determinar el planteamiento y modelamiento hidraulico de las redes de distribucion de agua potable con el empleo de sistema de informacion geografica (QGIS) y su complemento QWATER en la localidad de Nueva Esperanza, de acuerdo a la normatividad Vigente?	Determinar el planteamiento y Modelamiento hidráulico de las redes de distribucion de agua potable con el empleo de sistema de informacion geografica (QGIS) y su complemento QWATER en la localidad de Nueva Esperanza, de acuerdo a la normatividad vigente		- Velocidades en las redes.	<b>INSTRUMENTOS:</b> Tecnica de Observacion en situ, uso de Equipos Topograficos, Gps, y otros, Software, etc.
¿Cumplirá el modelamiento hidraulico de las redes de distribucion de agua potable de la localidad de Nueva Esperanza con los parametros de la normatividad vigente?	Analizar el modelo de simulacion hidraulico de las redes de distribucion de agua potable de la localidad de Nueva Esperanza con los parametros tecnicos y normativos vigentes		- Presiones en los nodos de consumo de las redes	<b>MUESTRA</b> Las redes de distribucion de la localidad de Nueva Esperanza

## **Anexo 2: INFOPRME TOPOGRAFICO**

### **1. Metodología de trabajo**

La metodología del trabajo que se utilizó es el método radial con una estación de observación establecida a nivel de campo y posteriormente en gabinete, se ha adecuado a lo indicado en los términos de referencia y al programa presentado en el calendario de actividades.

- Para la ejecución de la Topografía, se consideró una brigada de campo, dirigidos por el jefe de topografía y Jefes de estudio.
- La brigada de topografía ha estado compuesto por un Jefe de Brigada (topógrafo) y Auxiliares de Topografía.
- El estudio topográfico se realizó utilizando el método convencional de trazo, nivelación y secciones, con los equipos de Precisión mencionados, como la Estación Total Topcon.
- Durante el trazado, seccionamiento se ha colocado BMs materializados con pintura y sus respectivas referencias para su fácil identificación.

### **2. Levantamiento topográfico**

El tipo de levantamiento topográfico urbano se efectuó, utilizando para ello la Estación Total Topcon. Todas las coordenadas que se muestran en los planos de planta han sido referidas al sistema UTM WGS84.

Con el propósito de registrar los datos necesarios para ejecutar la representación de los diferentes rasgos naturales y artificiales de la zona de estudio; se realizó un levantamiento topográfico que consistió en la medición en forma rápida seccionamiento y distancias (taquimetría) a los puntos de interés para determinar su posición y cota correspondiente. Las cotas están referidas al Nivel Medio del Mar. Se realizó el levantamiento de forma detallada como se observa en la siguiente imagen.

Estación Total Topcon introduce una mayor exactitud en el sistema. Ese tipo de receptor, además de recibir y procesar la información de los satélites, recibe y procesa,

simultáneamente, otra información adicional procedente de una estación terrestre situada en un lugar cercano y reconocido por el receptor.

Esta información complementaria permite corregir las inexactitudes que se puedan introducir en las señales que el receptor recibe de los satélites.

### **3. Trabajo de campo**

Luego del reconocimiento del Campo de la extensión de la zona que comprende el estudio Topográfico (Localidad de Nueva esperanza). Se procedió a instalar la Estación Total Topcon en un lugar donde se lograra abarcar gran área de la zona de trabajo. Luego de georeferenciar los puntos topográficos en el GPS en el sistema WGS-84 con coordenadas UTM, se procedió tomar los datos de planimetría como la altimetría con un total de 3500 puntos y 10 BMs en Nueva Esperanza, obtenidos del campo para determinar el relieve existente del terreno.

### **4. Trabajo de gabinete**

#### **Procesamiento de Datos**

Toda la información se trabajó en software Topográfico (Qgis 3.6 y Microsoft Excel) y se procedió al dibujo de los planos.

#### **Cálculo del Perímetro y Área**

Los errores relativos en la determinación de las distancias de los puntos de apoyo para el levantamiento Topográfico se verificaron para no superar errores de 1/1000, requerimientos necesarios para levantamientos topográficos de diseño de Ingeniería.

Para ello se verifico que el error en distancias de las estaciones mayores a 100m sean menores a 10mm en la toma de distancias.

Para la determinación de la orientación del azimut del vector que une los puntos R1-E1 de las estaciones de apoyo se tomó los puntos con GPS diferencial con una precisión de  $\pm 2.00$  subtendida en una distancia aproximada de 1km esto aumenta la precisión en la determinación del azimut de orientación.

En campo se observó una zona claramente definidas para fines del estudio topográfico de las localidades comentadas anteriormente.

### **Zona de desarrollo de la población de la Localidad de Nueva esperanza**

Los levantamientos se extendieron en las calles, carretera y en lugares de mayor visualización de la extensión en la zona. En esta zona determinaron, calles, carreteras, caminos de herraduras, quebradas, detalles que definen la planimetría de estas localidades.

### **Puntos de Control**

Los puntos de control comprenden puntos físicos existentes en campo (Monumentados), con fines de verificación de diseño, replanteo de obra y estos contienen coordenadas y cotas conocidas indicados en los planos de Topografía (Cuadro Técnicos), para ello se presenta los cuadros de BMs que a continuación mostramos.

#### ***Cuadro de (Ubicación de puntos BMs) Nueva esperanza***

<b>CUADRO DE COORDENADAS UTM BMS</b>			
<b>N°</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	<b>COTA</b>
BM-01	8490724.94	658375.52	3612.72
BM-02	8490622.53	658492.10	3587.13
BM-03	8490438.45	658120.86	3568.29
BM-04	8490171.13	658284.63	3532.21
BM-05	8490198.18	658492.14	3532.20
BM-06	8490177.10	658675.38	3531.33
BM-07	8490283.49	658511.15	3543.28
BM-09	8490499.42	658678.37	3559.08
BM-09	8490403.47	658672.05	3550.20
BM-10	8490350.55	658761.61	3534.83

### **Cálculo del Perímetro y Área**

Los cálculos de los perímetros y áreas se realizaron en el programa de dibujo Qgis 3.6 con una precisión confiable para trabajos de Ingeniería.

Toda la información del levantamiento almacenada durante la jornada de trabajo, se transferían a una computadora y luego fueron procesados en el programa Qgis 3.6, garantizando de esta manera el avance del levantamiento, verificando que se tomaron los puntos necesarios para representar la topografía del área de estudio.

### **Trazo de la Curvas de Nivel**

Las Curvas de Nivel de la zona fueron realizadas a través del software Qgis3.6, el cual genera las curvas de nivel con las tolerancias y rangos manejables por el usuario, en esta etapa se edita la red irregular de triángulos (TIN) buscando que la superficie formada por el TIN represente al terreno natural con la mayor realidad posible, sin descuidar las tolerancias admisibles para los diseños que se emplacen en la zona de estudio.

Para el presente estudio la equidistancia de las curvas de nivel en el plano topográfico es de cada 5.00 metros para las curvas principales y cada 1.00 metros para las curvas secundarias.

### **Fotografías.**



se puede apreciar el levantamiento topográfico de todo el área del reservorio existente de nueva esperanza





Se puede apreciar el levantamiento topográfico de las calles y la numeración de las viviendas.

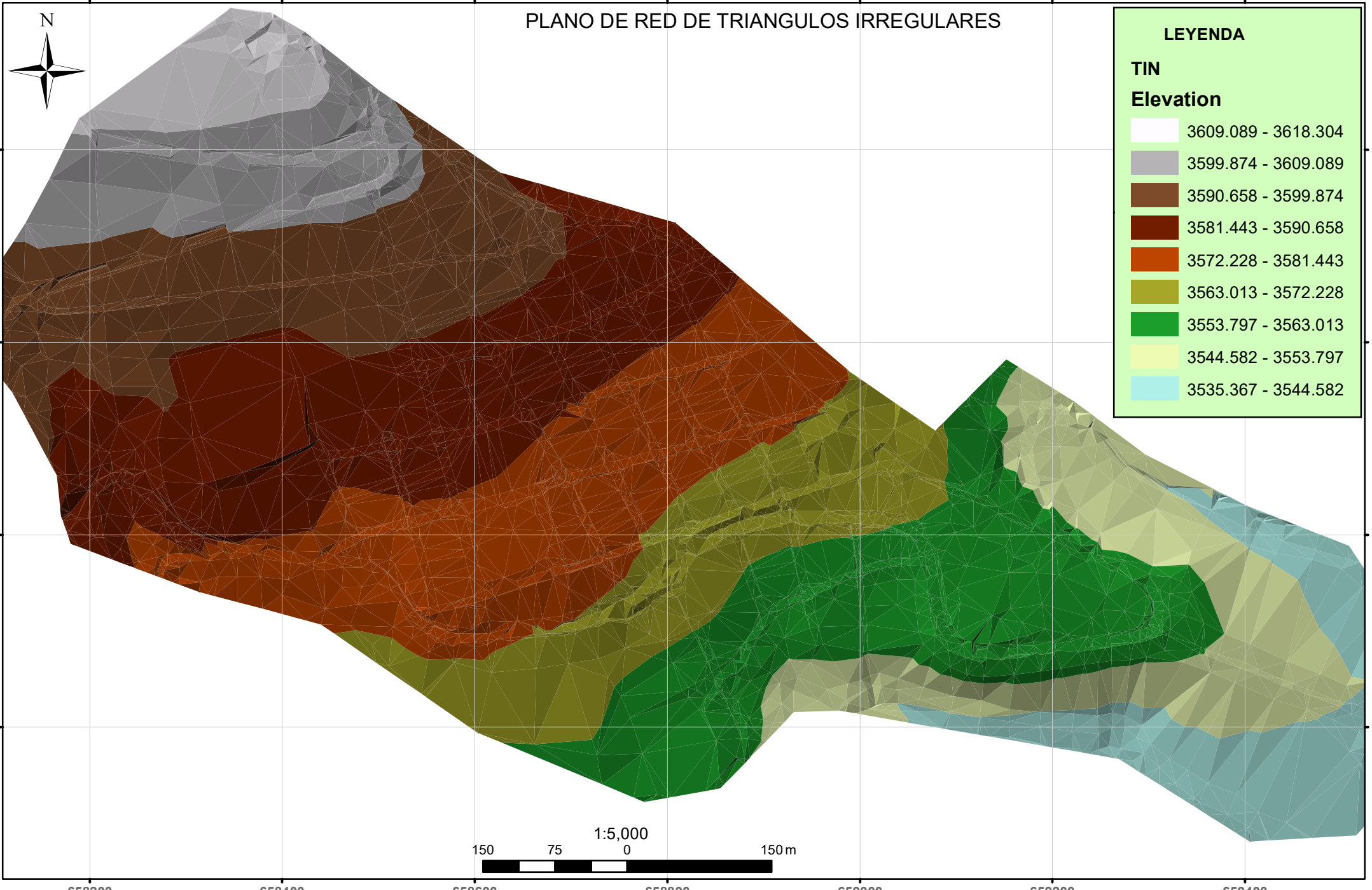


Se puede observa el levantamiento topográfico de las calles

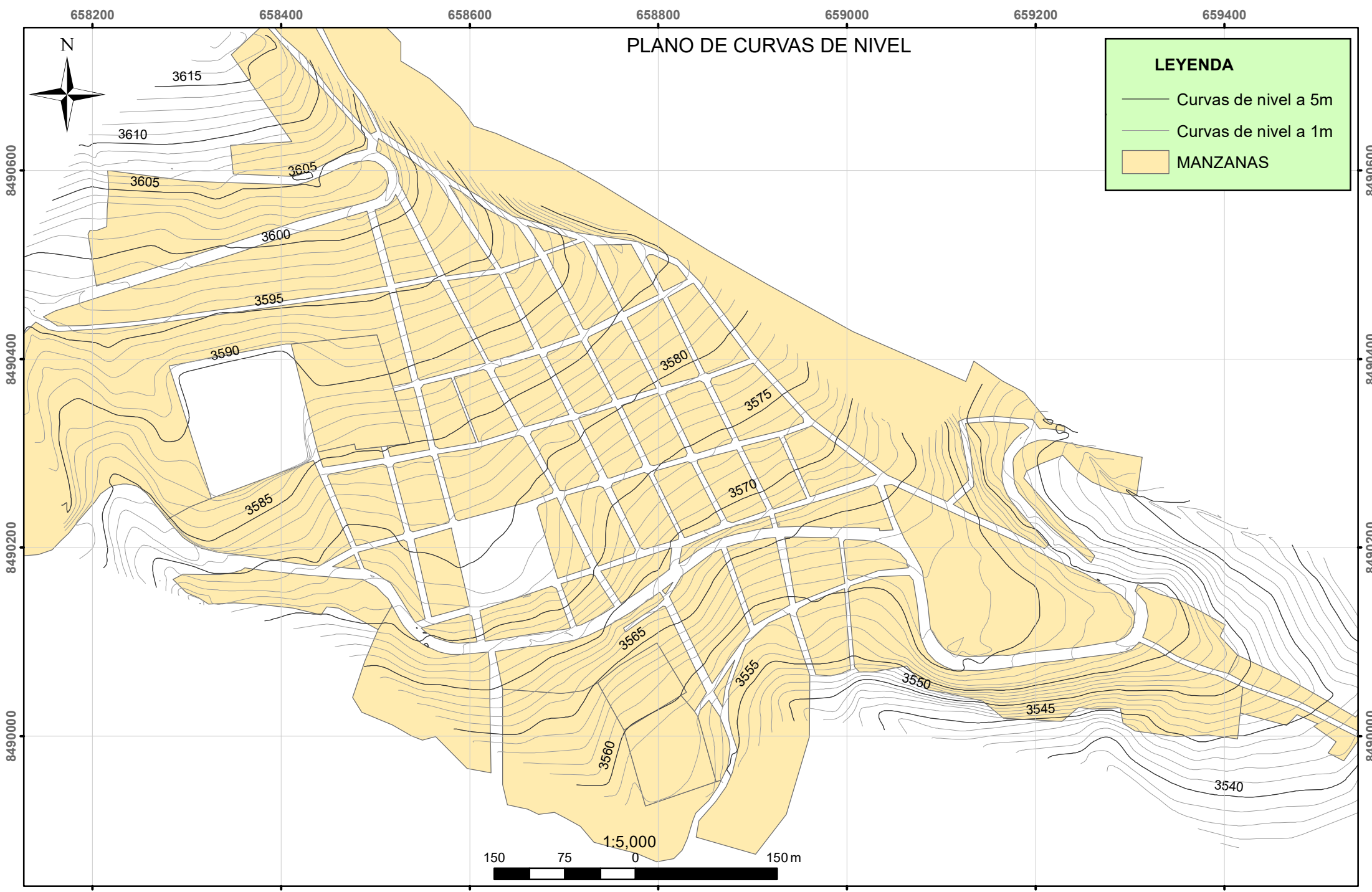
**A continuación, se presentan los planos topográficos**

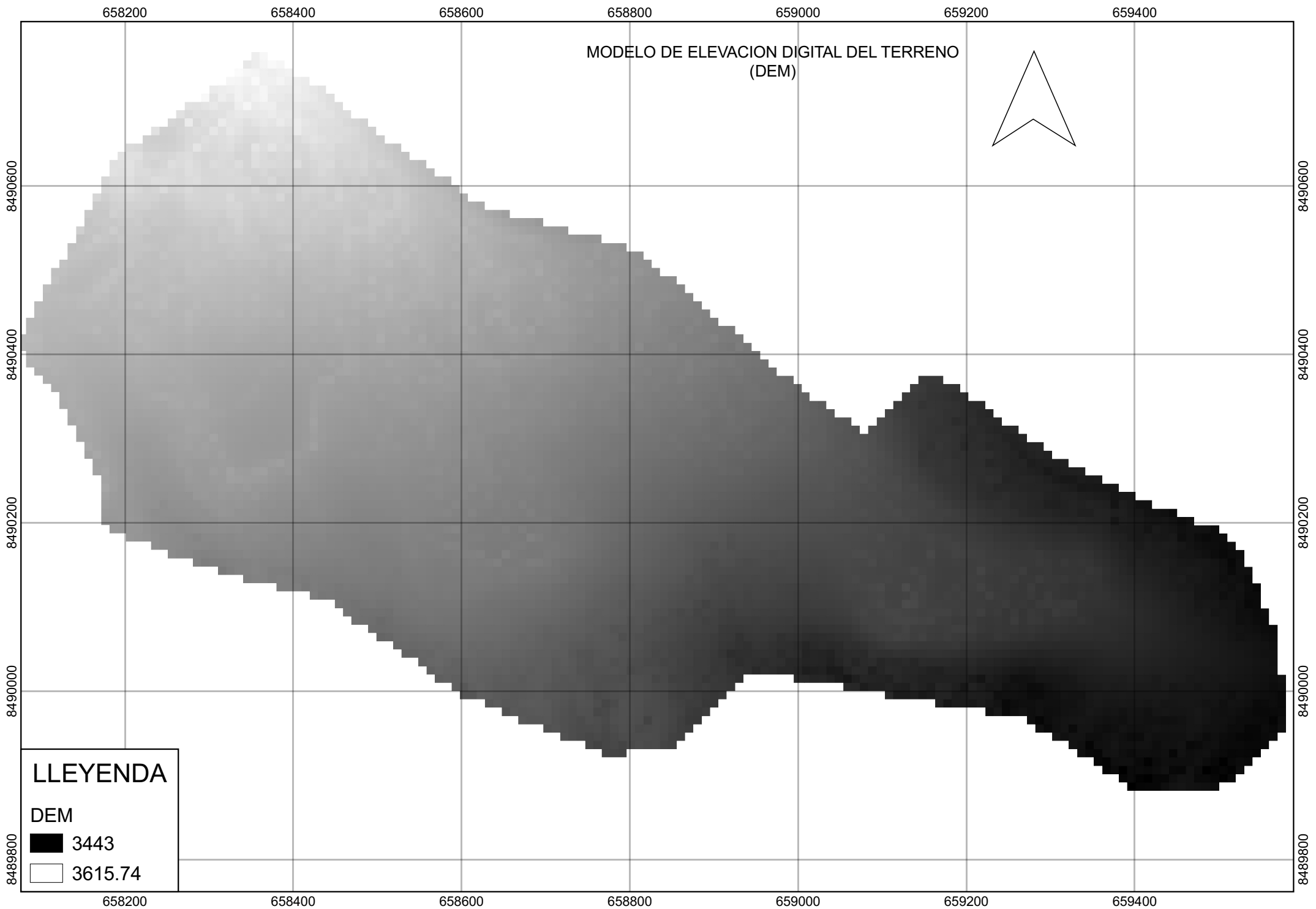


# PLANO DE RED DE TRIANGULOS IRREGULARES



# PLANO DE CURVAS DE NIVEL





ANEXO 3: AFORO DEL MANANTIAL PORO PORO HUAYCCO

DEPARTAMENTO : APURIMAC DISTRITO : SANTA MARIA DE CHICMO  
 PROVINCIA : ANDAHUAYLAS LUGAR : C.P.NUEVA ESPERANZA

Modelamiento Hidráulico de Redes de Distribución de Agua Potable Mediante Sistema de Información Geográfica (Qgis) en Nueva Esperanza - Apurímac, 2021

DATOS DE CAMPO

LUGAR : Manatíal PORO PORO HUAYCCO  
 FECHA DE AFORO : Octubre 2019

ITEM	N° DATOS	TIEMPO (SEG)	H (m)
	1	1.85	0.25
	2	1.65	0.25
	3	1.28	0.25
	4	1.55	0.25
	5	1.89	0.25
SUMA		8.22	
PROMEDIO		1.64	

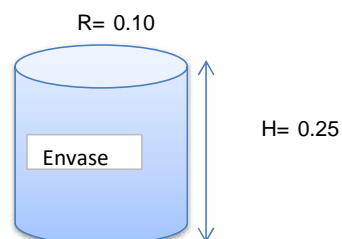
ITEM	N° DATOS	AREA (m2)	PERIMETRO
	ENVASE	0.03	0.63
SUMA		0.03	0.63



Cálculo de oferta

CAUDAL (Q)	Q = 0.0048 m3/seg
$Q = \frac{A * H}{T}$	Q(1) = 4.78 Lit/seg
	Q(T) = 4.78 Lit/seg caudal total

CAPACIDAD DE ENVASE = 4.1 Lt





# GOBIERNO REGIONAL DE APURIMAC

Dirección Sub Regional de Salud Chanka Andahuaylas

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"



## DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL LABORATORIO DE CONTROL AMBIENTAL

### INFORME DE ENSAYO N° 18 – 2021

#### ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO CATEGORIA – I

#### I DESCRIPCION GENERAL:

REGION :Apurímac  
 PROVINCIA :Andahuaylas  
 DISTRITO :Santa María del Chicmo  
 LOCALIDAD :Nueva Esperanza  
 MANANTE :Itanayocc  
 INGRESO AL LABORATORIO :03/05/2021  
 INICIO DE ENSAYO :03/05/2021  
 TERMINO DE ENSAYO :07/05/2021  
 MUESTREADOR :Ciro Michel Quispe Ccahuin  
 SOLICITANTE/PROYECTO :Ciro Michel Quispe CCachuin (Investigador)

CARACTERISTICAS	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADO	LMP*
COLOR	U.C.V.	3	15
SABOR	Aceptable	Aceptable	Aceptable
TURBIEDAD	UNT	0.08	<5
SULFATOS	Mg/Lt	8	250
NITRITOS	Mg/Lt	0.025	3
NITRATOS	Mg/Lt	1.5	50
CONDUCTIVIDAD	µs/cm	270	1500
CLORUROS	Mg/Lt	8.64	250
DUREZA TOTAL	Mg/Lt	210	500
P.H.	Mg/Lt	8.2	V.N.=6.5-8.5
HIERRO	Mg/Lt	---	1
ALUMINIO	Mg/Lt	---	5
COBRE	Mg/Lt	---	2
PLOMO	Mg/Lt	---	0.05
AMONIACO	Mg/Lt	---	1.5
CADMIO	Mg/Lt	---	0.01
OXIGENO DISUELTO	Mg/Lt	7.7	>=5
COLIFORMES FECALES	NMP/100ml	<1.1	1.8
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	<1.1	1.8

\*L.M.P. =Límite Máximo Permissible

\*U.C.V. =Unidad de Color Verdadero

\*U.N.T. =Unidad Nefelométricas de Turbiedad

#### II CONCLUSIONES:

De acuerdo a los resultados de la muestra analizada, los parámetros físico químicos se encuentran dentro de los rangos permisibles, de acuerdo al D.S. N° 031-2010-S. A





# GOBIERNO REGIONAL DE APURIMAC

Dirección Sub Regional de Salud Chanka Andahuaylas

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"



DIRECCION EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL

LABORATORIO DE CONTROL AMBIENTAL

INFORME DE ENSAYO N° 19 – 2021

## ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO CATEGORIA – I

### I DESCRIPCION GENERAL:

REGION :Apurímac  
 PROVINCIA :Andahuaylas  
 DISTRITO :Santa María del Chicmo  
 LOCALIDAD :Nueva Esperanza  
 MANANTE :Poro Poro Huaycco  
 INGRESO AL LABORATORIO :03/05/2021  
 INICIO DE ENSAYO :03/05/2021  
 TERMINO DE ENSAYO :07/05/2021  
 MUESTRADOR :Ciro Michel Quispe Ccahuin  
 SOLICITANTE/PROYECTO :Ciro Michel Quispe CCachuin (Investigador)

CARACTERISTICAS	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADO	LMP*
COLOR	U.C.V.	4	15
SABOR	Aceptable	Aceptable	Aceptable
TURBIEDAD	UNT	0.1	<5
SULFATOS	Mg/Lt	155	250
NITRITOS	Mg/Lt	0.035	3
NITRATOS	Mg/Lt	1.4	50
CONDUCTIVIDAD	µs/cm	395	1500
CLORUROS	Mg/Lt	8.64	250
DUREZA TOTAL	Mg/Lt	150	500
P.H.	Mg/Lt	7.7	V.N.=6.5-8.5
HIERRO	Mg/Lt	---	1
ALUMINIO	Mg/Lt	---	5
COBRE	Mg/Lt	---	2
PLOMO	Mg/Lt	---	0.05
AMONIACO	Mg/Lt	---	1.5
CADMIO	Mg/Lt	---	0.01
OXIGENO DISUELTO	Mg/Lt	7.6	>=5
COLIFORMES FECALES	NMP/100ml	1.1	1.8
COLIFORMES TOTALES	NMP/100ml	1.1	1.8

\*L.M.P. =Límite Máximo Permissible

\*U.C.V. =Unidad de Color Verdadero

\*U.N.T. =Unidad Nefelométricas de Turbiedad

### II CONCLUSIONES:

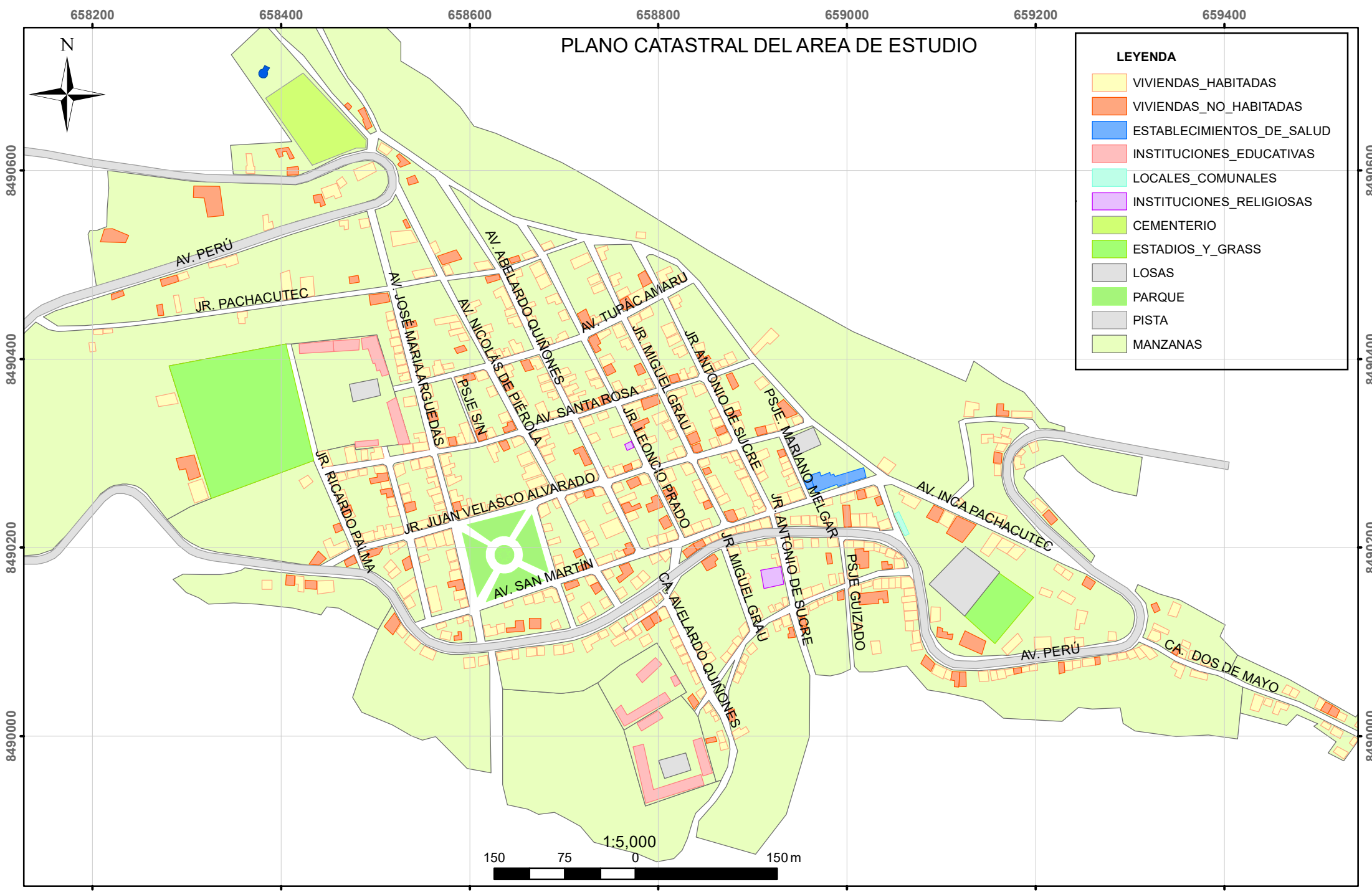
De acuerdo a los resultados de la muestra analizada, los parámetros físico químicos se encuentran dentro de los rangos permisibles, de acuerdo al D.S.

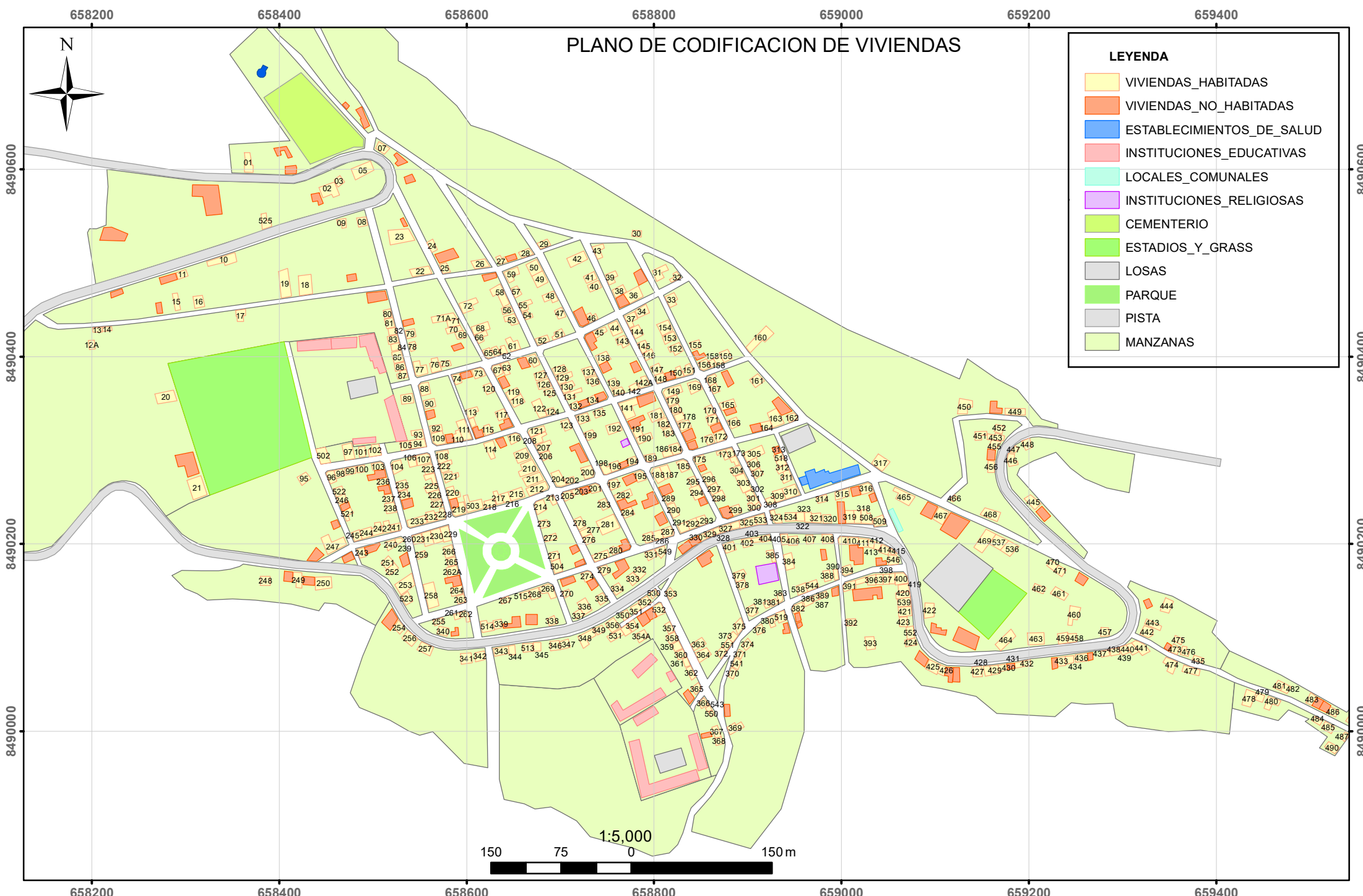




**Anexo 4: Laminas de procedimiento de preparación de datos de entrada para el modelamiento hidráulico**

# PLANO CATASTRAL DEL AREA DE ESTUDIO

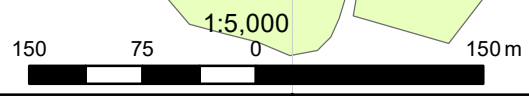
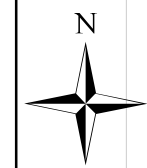




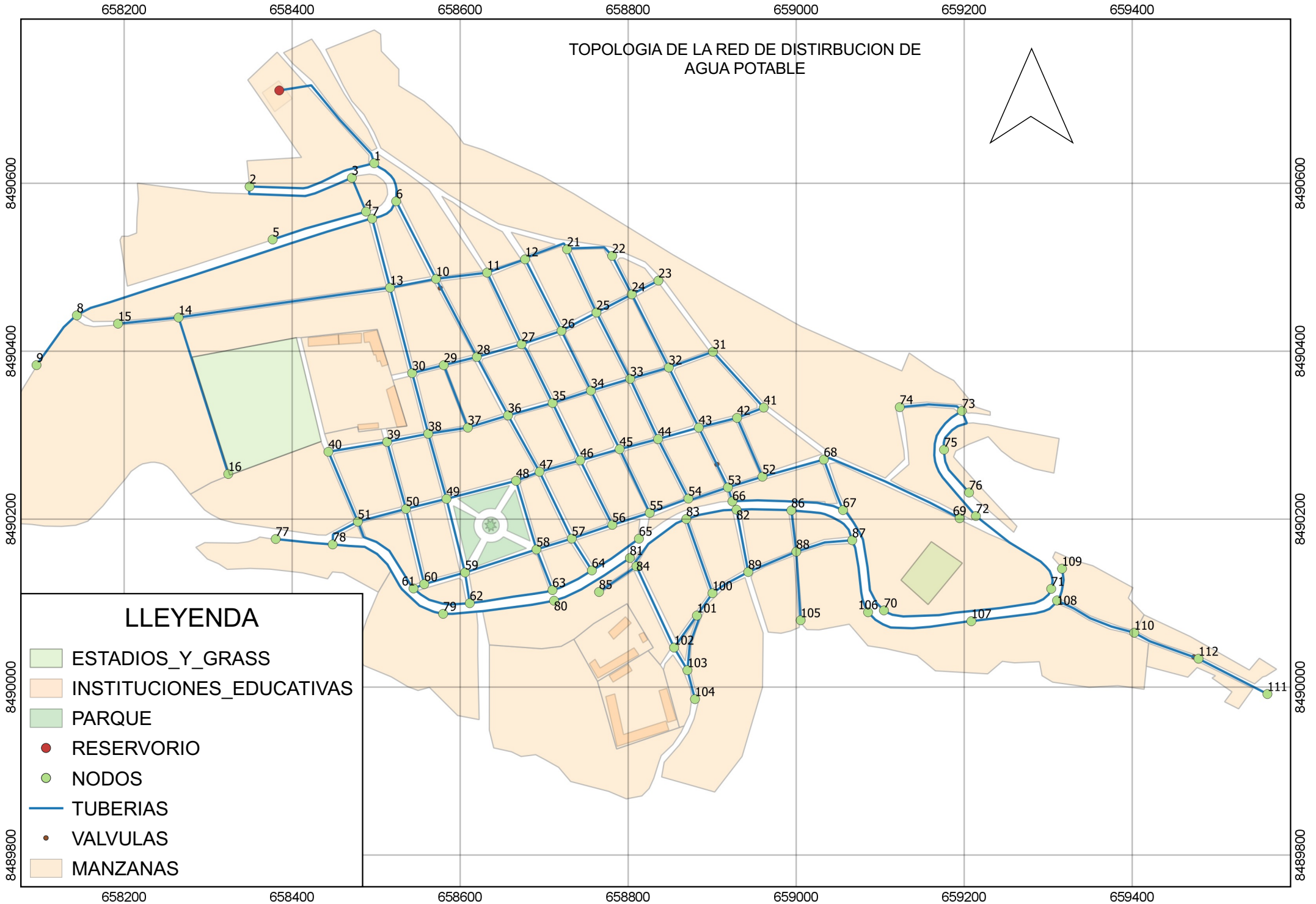
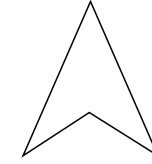
# PLANO DE CODIFICACION DE VIVIENDAS

**LEYENDA**

- VIVIENDAS\_HABITADAS
- VIVIENDAS\_NO\_HABITADAS
- ESTABLECIMIENTOS\_DE\_SALUD
- INSTITUCIONES\_EDUCATIVAS
- LOCALES\_COMUNALES
- INSTITUCIONES\_RELIGIOSAS
- CEMENTERIO
- ESTADIOS\_Y\_GRASS
- LOSAS
- PARQUE
- PISTA
- MANZANAS



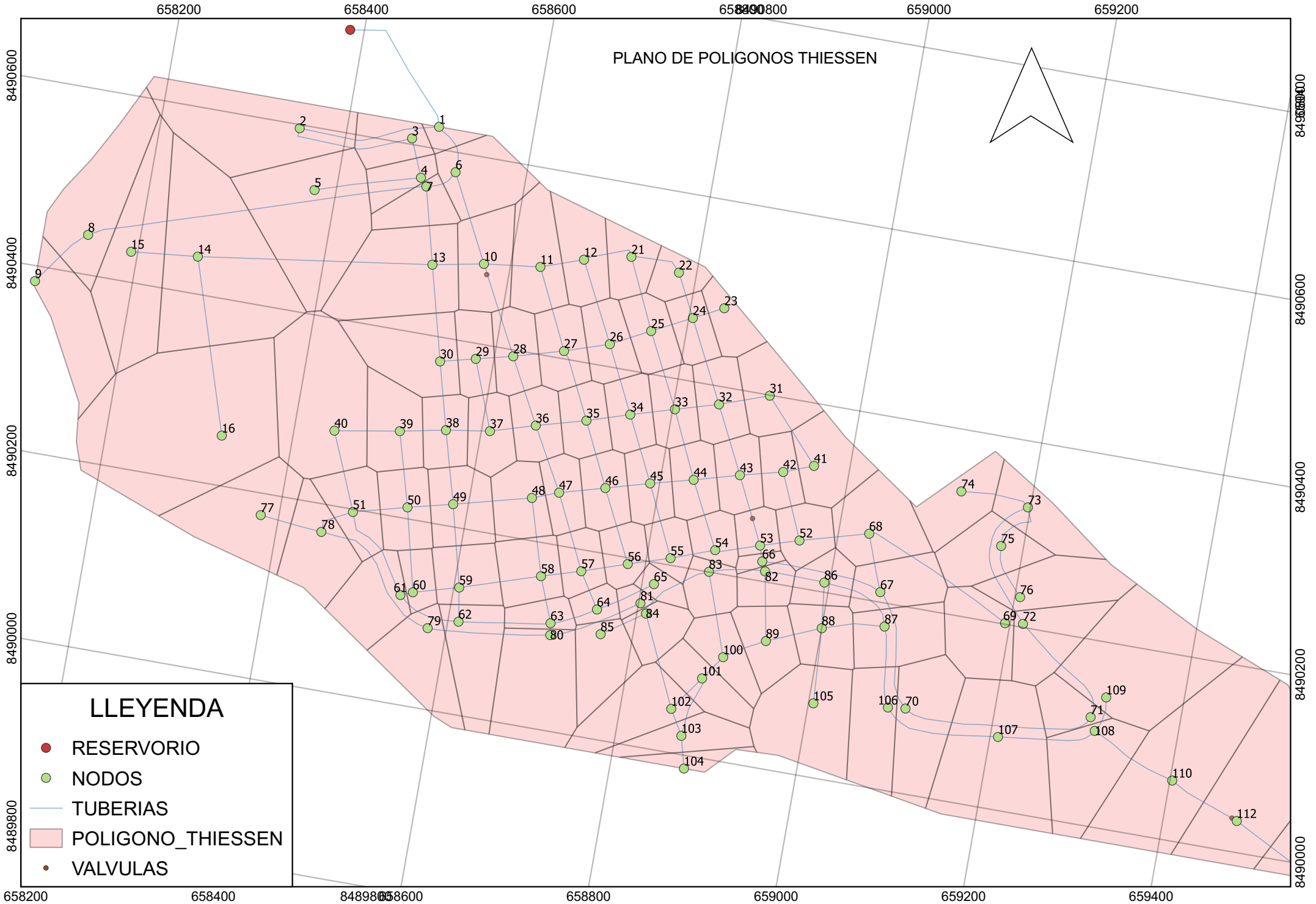
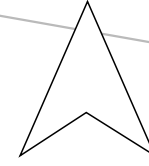
# TOPOLOGIA DE LA RED DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE

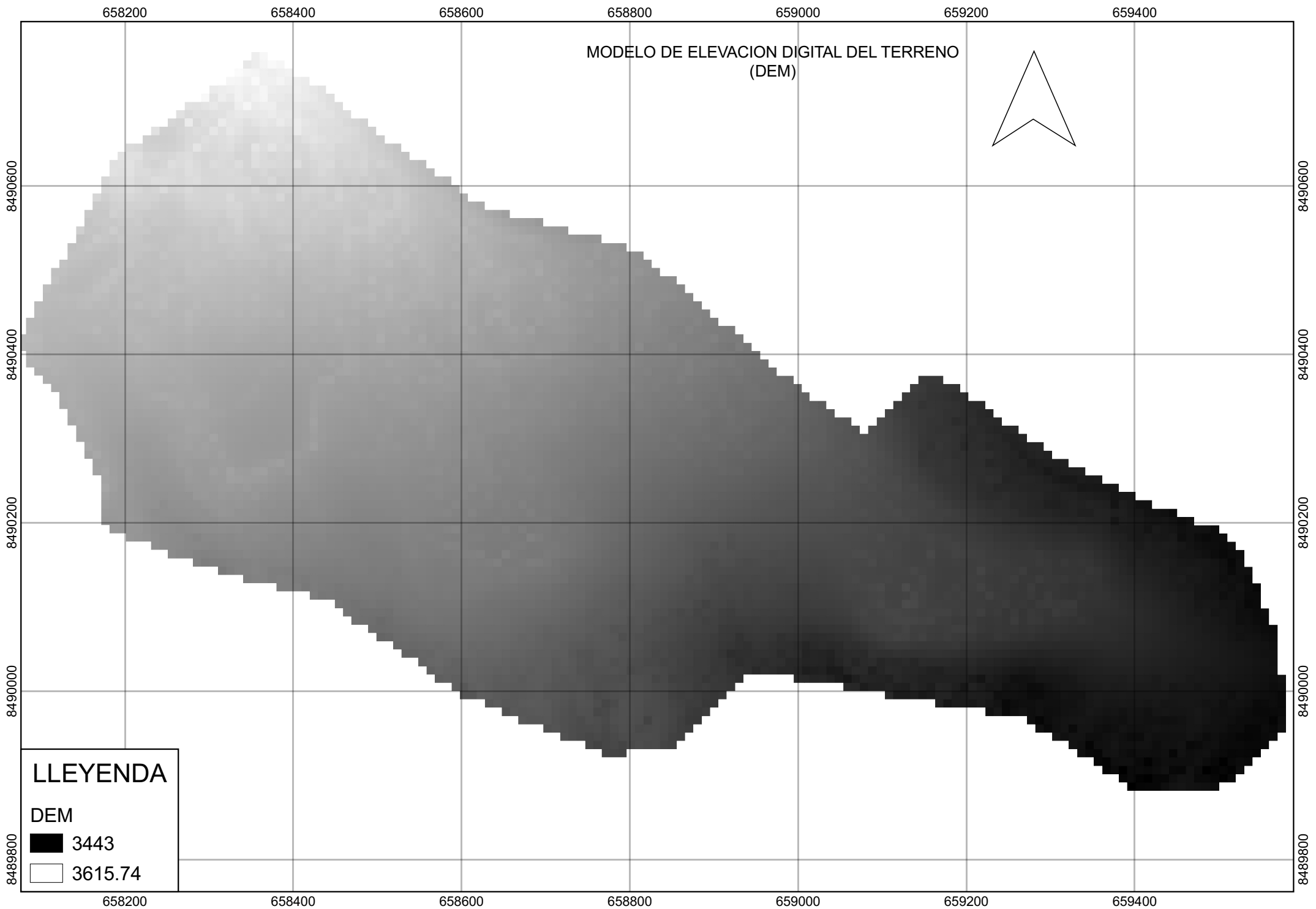


## LLEYENDA

- ESTADIOS\_Y\_GRASS
- INSTITUCIONES\_EDUCATIVAS
- PARQUE
- RESERVORIO
- NODOS
- TUBERIAS
- VALVULAS
- MANZANAS

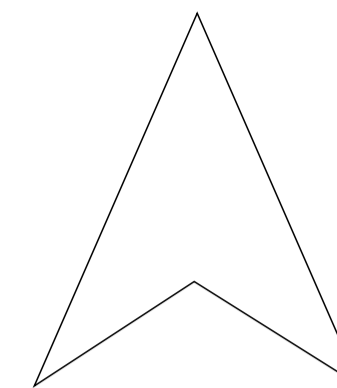
PLANO DE POLIGONOS THIESSEN





**Anexo 5: Plano de modelamiento hidráulico de las redes de distribución de la  
localidad de Nueva Esperanza**

MODELAMIENTO HIDRAULICO DEL ESTUDIO



**LEYENDA**

**MODELO**

- RESERVORIO\_MODEL

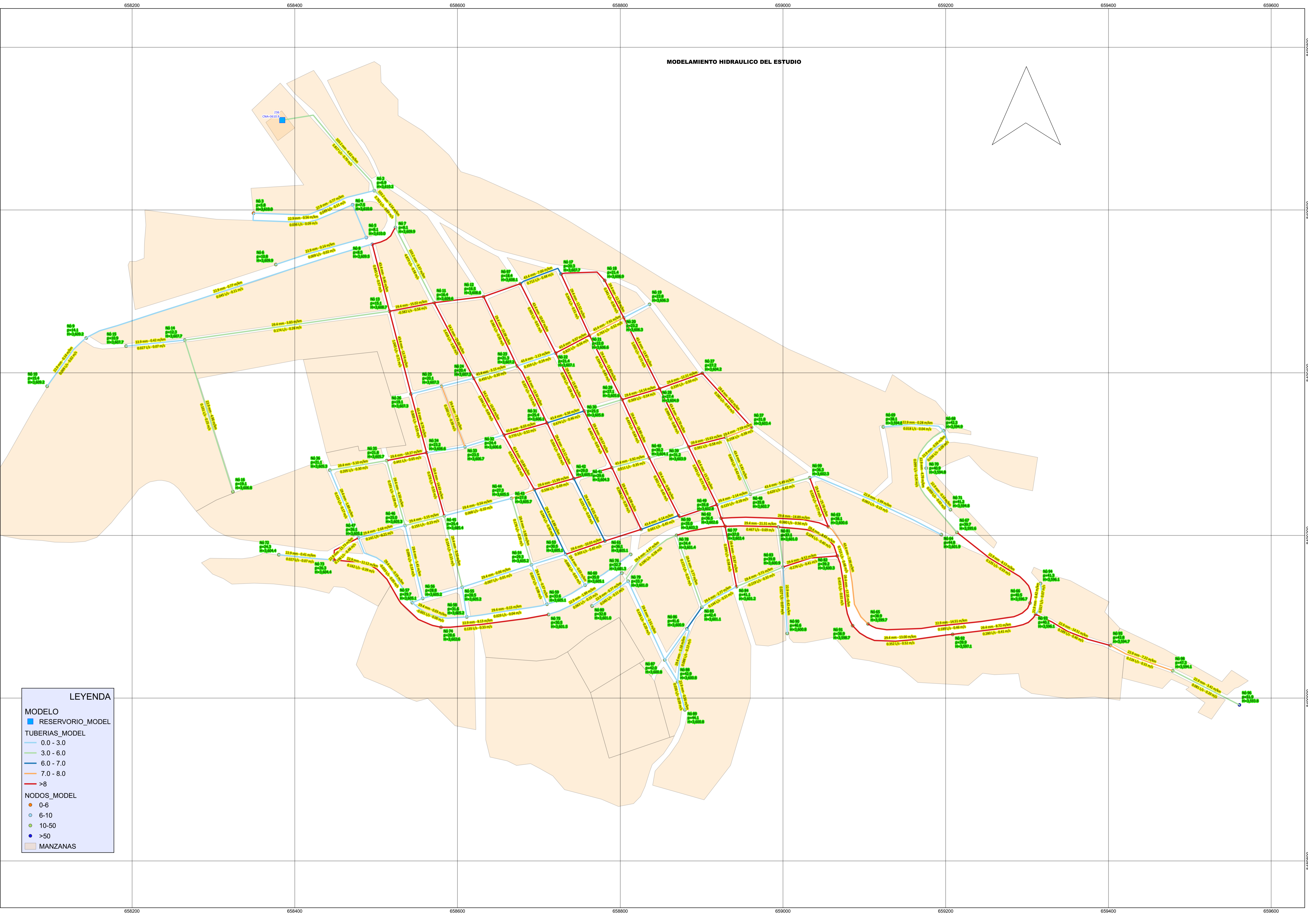
**TUBERIAS\_MODEL**

- 0.0 - 3.0
- 3.0 - 6.0
- 6.0 - 7.0
- 7.0 - 8.0
- >8

**NODOS\_MODEL**

- 0-6
- 6-10
- 10-50
- >50

**MANZANAS**





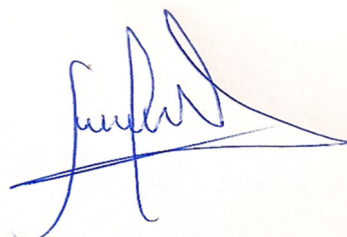
## Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, QUISPE CCAHUIN, CIRO MICHEL, egresado de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura; Escuela Profesional Ingeniería Civil/Programa académico TALLER DE ELABORACION DE TESIS de la Universidad César Vallejo SEDE LIMA ESTE, declaro (declaramos) bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado: *“Modelamiento Hidráulico de Redes de Distribución de Agua Potable Mediante Sistema de Información Geográfica (Qgis) en Nueva Esperanza – Apurímac, 2021”*, es de mi autoría, por lo tanto, declaro que el Trabajo de Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 25 de octubre del 2021.



---

QUISPE CCAHUIN, CIRO MICHEL  
DNI:43840112  
ORCID: 0000-0002-1196-4214