ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Agua potable y alcantarillado sanitario y pluvial

Modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente, IoT, inteligencia artificial y soluciones basadas en la naturaleza en Ecuador

DAVID VINICIO CARRERA VILLACRÉS

Agua potable y alcantarillado sanitario y pluvial

David Vinicio Carrera Villacrés

Primera edición electrónica: noviembre, 2026
ISBN: 978-9942-652-66-9

Ingreso al proceso: 09/04/2026 • Aprobación de ingreso: 24/04/2026
Aprobación de pares: 31/07/2026 • Finalización de edición: 29/10/2026

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Crnl. E.M. Henry Omar Cruz Carrillo, Ph. D.
Rector

Publicación autorizada por:
Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Tcrn. Luis Edwin Montes Paguay, Mgtr. - Vicerrector de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (E) - Presidente

Corrección de estilo y maquetación
Mtr. Xavier Chinga Mármol

Imagen de cubierta
https://acortar.link/CVpTYE
Carátulas de capítulos
Generadas con asistente de inteligencia artificial

Derechos reservados. Se prohíbe la reproducción de esta obra por cualquier medio impreso, reprográfico o electrónico. El contenido, uso de fotografía, gráficos, cuadros, tablas, y referencias es de exclusiva responsabilidad de los autores.

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador
www.espe.edu.ec

Los derechos de esta edición electrónica son de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para consulta de profesores y estudiantes de la universidad e investigadores en **www.repositorio.espe.edu.ec.**

Reconocimiento – No Comercial – Sin obras derivadas
CC BY-NC-ND 4.0

Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Agua potable y alcantarillado sanitario y pluvial

Modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente, IoT, inteligencia artificial y soluciones basadas en la naturaleza en Ecuador

Ing. David Vinicio Carrera Villacrés, Ph.D.

EDITORIAL
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

David Vinicio Carrera Viallacrés
dvcarrera@espe.edu.ec

Ingeniero Civil por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con especialización en Hidrosanitaria. Obtuvo los grados de Maestría y Doctorado en Ciencias en el Programa de Hidrociencias, en México, mediante becas de la Organización de los Estados Americanos (OEA) y de la Secretaría de Relaciones Exteriores de México (SRE), respectivamente.

Su formación de posgrado se orientó a la calidad del agua para riego, la caracterización de suelos agrícolas y la metamorfosis de las aguas naturales. Cuenta con más de 24 años de experiencia profesional, académica y científica. Ha ejercido la docencia en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, la Universidad Central del Ecuador, la Escuela Politécnica Nacional y la Universidad Nacional de Loja. Actualmente es profesor titular principal nivel 1 de la ESPE, donde coordina el Grupo de Investigación en Contaminación Ambiental (GICA), y profesor titular agregado nivel 3 de la Universidad Central del Ecuador.

Sus investigaciones abordan la gestión sostenible de los recursos hídricos, la calidad del agua, la hidrología, la conservación de suelos y la aplicación de tecnologías emergentes, como inteligencia artificial, Internet de las Cosas (IoT), teledetección y modelación hidráulica para mejorar la eficiencia de los sistemas de abastecimiento de agua potable y desarrollar soluciones basadas en la naturaleza. Su producción académica comprende 50 publicaciones indexadas en Scopus y más de 60 contribuciones adicionales en revistas, congresos nacionales e internacionales. Es autor de los libros *Fuentes Termales del Ecuador* (2017) y *Ciencia del Suelo, caracterización y conservación en el Ecuador* (2022).

Ha realizado estancias de investigación en la Universidad de Berna (Suiza) y la Universidad Federal de Ceará (Brasil), y es miembro constituyente de la Fundación Tecnología e Innovación para el Desarrollo Sostenible (Innovaiyayku). Entre sus distinciones destacan las menciones honoríficas obtenidas en 2014 y 2015 en concursos de desarrollo sostenible organizados por Odebrecht; el reconocimiento del proyecto Urku Yaku entre las diez iniciativas de innovación social más destacadas de América Latina y España (2017), otorgado por CAF; y la inclusión de su proyecto de captación de agua de lluvia y condensación atmosférica en el ranking de los Premios Latinoamérica Verde (2017).

Asimismo, integró equipos ganadores de fondos concursables de cooperación científica Suiza (2019) y Alemana, mediante GIZ (2020). En 2026 obtuvo, junto con su equipo, el segundo lugar en el III Concurso de Diseño Hidráulico, organizado por la empresa Plastigama Wavin. Ese mismo año, el proyecto Intelligent Leak Management with Autoencoders, desarrollado en la ESPE, recibió el reconocimiento internacional Founders' Honors 2026 de Bentley Systems, en la categoría Education – Excellence in Hands-on Teaching using AI, durante los Year in Infrastructure Awards celebrados en Singapur.

Su trayectoria científica se enmarca en la Inteligencia Hídrica y la Transformación Digital del Agua, con un enfoque integral hacia la gestión inteligente y sostenible de los recursos hídricos. Sus investigaciones articulan sensores IoT, inteligencia artificial, análisis de datos y modelación hidráulica para el monitoreo en tiempo real, la identificación de pérdidas y la optimización de los sistemas de abastecimiento de agua potable. Asimismo, incorpora el análisis hidroeconómico, la valoración de los costos del agua y las soluciones basadas en la naturaleza, integrando las dimensiones tecnológica, económica y ambiental para contribuir a la seguridad hídrica, la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los recursos naturales.

Índice

CAPÍTULO I

Conceptos generales 19

1. El agua 21

1.1. Planeta Agua: La vida en el agua 22

1.2. Ciclo del agua potable 22

1.3. Infraestructura Hidráulica 23

1.4. Ingeniería del agua en América Asia y Europa 24

1.5. Ingeniería del agua en América 30

1.6. Ingeniería del Agua en Asia 32

1.7. Ingeniería del Agua en Europa 33

1.8. Historia del agua en Ecuador 34

1.9. Ciudades inteligentes y los nuevos paradigmas en el manejo del agua 43

CAPÍTULO II

Normativas para el diseño, construcción y conceptos básicos de las obras hidrosanitarias 47

2. Normativas para el diseño, construcción y conceptos básicos de las obras hidrosanitariass 49

2.1. Comparación de la normativa SAPYSB 1973 y SENAGUA 2014 49

2.2. Documentos necesarios que se debe subir al USHUAY para participar en el Servicio de Compras Públicas en el Ecuador 53

2.3. Normativa de Calidad del agua AM097-A 59

2.4. Normativa INEN 1108 61

2.5. Elementos y Comportamiento del sistema hidráulico en proyectos de agua potable y alcantarillado 63

2.6. Caudalímetros IoT 71

2.7. Sistema de alcantarillado 72

CAPÍTULO III

Diagnóstico de proyectos y sistemas de operación de agua potable y alcantarillado para proponer su rediseño 91

3. Diagnóstico de proyectos y sistemas de operación de agua potable y alcantarillado para proponer su rediseño 93

3.1. Diagnóstico de los sistemas de agua potable y alcantarillado.....93
3.2. Estudios manométricos 95
3.3. Tubos Pitot.....98
3.4. Geófono.....99
3.5. Aguas No Contabilizadas ANC 102
3.6. Un nuevo paradigma en el manejo de agua.....105
CAPÍTULO IV
Parámetros y bases de diseño de proyectos de agua potable y alcantarillado 107
4. Parámetros y bases de diseño de proyectos de agua potable y alcantarillado 109
4.1. Normativa legal vigente del Ecuador de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado en poblaciones rurales.....109
4.2. Bases o parámetros de diseño de proyectos de agua potable y alcantarillado 117
4.3. Otras consideraciones para el modelamiento hidráulico 215
4.4- EPANET 220
CAPÍTULO V
Diseño del drenaje sanitario 223
5. Caudales de diseño para alcantarillado sanitario 225
5.1. Caudal de aguas residuales domésticas propiamente dichas (Q ard).....225
5.2. Caudal Máximo Instantáneo de aguas residuales domésticas ($Q_{Max\ Inst}$).....229
5.3. Caudal de aguas residuales industriales (Q_{ind}) 230
5.4. Caudal de aguas de infiltración (Q_{inf}).....231
5.5. Caudal de aguas de conexiones ilícitas (Q_{ili}) 233
5.6. Ejercicio de aplicación para obtener los caudales del drenaje sanitario 235
5.7. Criterios de diseño hidráulico del drenaje sanitario en flujo lámina libre.....241
CAPÍTULO VI
Diseño del drenaje pluvial 243

6. Introducción al drenaje pluvial 245
6.1. Obtención de datos climatológicos para el diseño del drenaje pluvial 245
6.2. Tratamiento de datos meteorológicos para determinar la estacionalidad 247
6.3. Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) para la gestión del escurrimiento pluvial en cuencas urbanas 249
6.4. Cálculo del caudal de diseño para el alcantarillado pluvial 253
6.5. Ejercicio de aplicación para obtener los caudales de diseño del drenaje pluvial con el método racional.....265
6.6. Cálculo del caudal de diseño de drenaje pluvial con poca información para cuencas grandes.....266
6.7. Criterios básicos para el diseño del drenaje pluvial.....269
6.8. Ejemplo práctico del modelo hidráulico en flujo permanente y no permanente que se realizó en la infraestructura de aguas residuales en la ESPE con Sewercad, en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE 270
Referencias 309

Índice de tablas

Tabla 1
Denominaciones que ha tenido SAPYSB en Ecuador 38
Tabla 2
Cronología del agua potable y saneamiento en el Ecuador 49
Tabla 3
Etapas de un proyecto de agua potable y alcantarillado en poblaciones rurales 51
Tabla 4
Etapas de un proyecto de agua potable y alcantarillado en poblaciones rurales 54
Tabla 5
Personal técnico y experiencia para poder participar en proyectos de agua potable y saneamiento 55
Tabla 6
Productos que se tienen que entregar en proyectos de agua potable y saneamiento 57
Tabla 7
Normativa de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua 60
Tabla 9
Materiales y procedimiento para medir el caudal con el método volumétrico 82
Tabla 10
Procedimiento para medir caudales con el método de la sección transversal y de Manning 83
Tabla 11
Tipos de vertedero para medir caudales. 86
Tabla 12
Presiones recomendadas en poblaciones urbanas y rurales 96
Tabla 13
Frecuencia de vibración de acuerdo al material 100
Tabla 14
Volumen de agua suministrado de agua potable y la clasificación de pérdidas 103
Tabla 15
Niveles de servicio y cantidad de agua de acuerdo a la OMS 118
Tabla 16
Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos. 119
Tabla 17
Dotaciones de las ciudades de la región 120

Tabla 18
Vida útil de elementos de un sistema de agua potable y alcantarillado 122
Tabla 19
Vida útil de elementos de un sistema de agua potable y alcantarillado 127
Tabla 20
Periodo de diseño para elementos de sistemas de agua potable y alcantarillado según CONAGUA 128
Tabla 21
Periodos óptimos de diseño de algunas ciudades de la región..... 129
Tabla 22
Métodos para el cálculo de la población futura..... 137
Tabla 23
Áreas recomendadas en edificaciones educativas (UNESCO, 1985). 157
Tabla 24
Dotaciones recomendadas para el área rural de acuerdo con la Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento (1992) 160
Tabla 25
Dotaciones recomendadas para el área urbana 161
Tabla 26
Dotaciones recomendadas para edificaciones de usos específico 161
Tabla 27
Dotaciones de los estudiantes del campus matriz de la ESPE en diferentes periodos académicos..... 163
Tabla 28
Censo de acuerdo con la sectorización de los líderes..... 167
Tabla 29
Categorías de consumo que se obtiene con el censo sanitario 168
Tabla 30
Sectorización real obtenida del censo sanitario..... 169
Tabla 31
Área de expansión futura de la población en el tiempo del periodo óptimo de diseño y en el patrón de consumo de agua obtenido del censo sanitario..... 170
Tabla 32
Caudales de diseño de poblaciones rurales de acuerdo con (Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento, 1992)..... 175
Tabla 33
Caudales de diseño para los elementos de agua potable de acuerdo con CPE INEN 05, (1992). 177

Tabla 34
Coeficiente de variación y caudales de diseño de proyectos de agua potable de acuerdo con (CONAGUA, 2019a)..... 178
Tabla 35
Gastos de diseño para estructuras de agua potable de acuerdo con el MAPAS de CONAGUA de México..... 184
Tabla 36
Coeficiente de retorno de acuerdo con varios autores 227
Tabla 37
Factores de punta o de mayoración 229
Tabla 38
Aportes máximos por conexiones erradas..... 234
Tabla 39
Cálculo del caudal de aguas residuales domésticas de cada colector..... 237
Tabla 40
Cálculo del caudal de infiltración en cada colector. 238
Tabla 41
Cálculo del caudal de aguas ilícitas. 239
Tabla 42
Valor del coeficiente M 239
Tabla 43
Cálculo del coeficiente de Harmon. 240
Tabla 44
Cálculo del caudal máximo instantáneo en cada colector. 240
Tabla 45
Cálculo del caudal de diseño. 241
Tabla 46
Métodos para calcular el tiempo de concentración 257
Tabla 47
Coeficientes de escurrimiento para zonas rurales..... 258
Tabla 48
Valores de coeficiente de escurrimiento para periodos de retorno..... 259
Tabla 49
Ecuaciones utilizadas en el Distrito Metropolitano de Quito 262
Tabla 50
Periodo de retorno y duración de la lluvia por tipo de infraestructura 264
Tabla 51
Parámetros de diseño para el drenaje sanitario..... 269
Tabla 52
Nivel de complejidad del sistema de análisis frente al coeficiente de retorno 274

Índice de figuras

Figura 1
Ciclo del Agua potable 23
Figura 2
Vista a la ciudad de Atenas, Grecia 25
Figura 3
Canales como vías de comunicación en México 27
Figura 4
Obra hidráulica en el gobierno de Porfirio Diaz en Zumpango 29
Figura 5
Presa Endhó en el Valle del Mezquital 30
Figura 6
Manejo de inundaciones para el riego. Underground Taming of Floods for Irrigation (UTFI) 31
Figura 7
Represa de las tres gargantas, China 33
Figura 8
Hidroeléctrica Daniel Palacios 35
Figura 9
Autoridad única del agua. Ecuador 37
Figura 10
Autoridad única del agua. Ecuador 44
Figura 11
Etapas de un proyecto 50
Figura 12
Etapas de un proyecto en poblaciones urbanas 53
Figura 13
Elementos de un sistema de agua potable 63
Figura 14
Atrapanieblas de forma piramidal 65
Figura 15
Atrapanieblas de forma cilíndrica instalado en el cantón Guamote, comunidad los Galtes 65
Figura 16
a) Galte Laime, b) Farm Urku Huayku, c) Ilaló volcano, d) Conocoto Quinta Girasoles, e) Conocoto Parque Metropolitano del Sur, collapsible tower, f) Bunche, collapsible tower 66

Figura 17
Sistema de captación de agua lluvia 67
Figura 18
Proceso de desalinización del agua.....68
Figura 19
Proceso de bombardeo de nubes para provocar la precipitación.....69
Figura 20
Caudalímetro de turbina con tecnología IoT. 71
Figura 21
Esquema detallado de componentes de una planta de tratamiento de aguas residuales.....74
Figura 22
Imagen 3D detallando los elementos de un drenaje sanitario.....75
Figura 23
Elementos del drenaje pluvial 76
Figura 24
Elementos de un drenaje industrial 77
Figura 25
Principales componentes del alcantarillado sanitario.....78
Figura 26
Esquema de un drenaje sanitario 79
Figura 27
Profundidades recomendadas en la instalación de una tubería de drenaje 81
Figura 28
Medición de caudales de una tubería con el método volumétrico 81
Figura 29
Medición de caudales con el método de la sección transversal y de Manning 82
Figura 30
Esquema para la medición en campo de la pendiente de un cauce natural o tubería.....83
Figura 31
Método para medir la velocidad de un cauce principal por flotadores 84
Figura 32
Diferentes niveles de los cauces naturales 85
Figura 33
Esquema de una tubería en perfil y en sección transversal 86
Figura 34
Ingreso de la información al software Hcanales.....87

Figura 35
Solución con el software Flowmaster 88
Figura 36
Rating curve del caudal en función del coeficiente de rugosidad 89
Figura 37
Relación de la oferta y la demanda en proyectos de agua potable y saneamiento 94
Figura 38
Fallas de diseño, la población real fue menor que la población de diseño 94
Figura 39
Fallas del sistema, la población real fue mayor que la población de diseño.....94
Figura 40
Manómetro casero.....96
Figura 41
Esquema de población en donde la presión medida en campo tiene que ser similar a la del estudio del diseño.....97
Figura 42
Isolineas de presión en el campus matriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE 98
Figura 43
Tubos pitot y su funcionamiento 99
Figura 44
Geófono marca Sewerin Aqua Test T10. 99
Figura 45
Mapa de color con el ruido que se obtuvo con el geófono en el edificio administrativo de la ESPE. 101
Figura 46
Sitios de fugas frecuentes en líneas principales y secundarias 104
Figura 47
Esquema del nivel de servicio sin acceso.....121
Figura 48
Periodo óptimo de diseño 121
Figura 49
El poder de decidir dinámica poblacional mundial (UNFPA, 2018).....131
Figura 50
Pirámide poblacional del Ecuador (INEC, 2024). 132
Figura 51
Estimaciones y proyecciones del Ecuador según (INEC, 2024). 133

Figura 52
Población futura calculada.....137
Figura 53
Sistemas abiertos en modelación dinámica.....139
Figura 54
Representación conceptual de un sistema abierto en la modelación dinámica, donde los flujos de entrada y salida atraviesan los límites del sistema.....140
Figura 55
Diagrama causal del sistema climático como un sistema dinámico cerrado, donde la evolución temporal está gobernada por bucles de retroalimentación internos.....141
Figura 56
Pantalla principal del software Vensim.....142
Figura 57
Configuración temporal del modelo.....142
Figura 58
Ingreso del tiempo que se va a modelar con las unidades.....143
Figura 59
Ingreso de la variable stock al modelo.....143
Figura 60
Ingreso de variables en el flujo.....144
Figura 61
Diagrama con stock y flujo del modelo.....144
Figura 62
Modelo en el sofware Vensim como producto del bucle poblacional.....145
Figura 63
Ingreso en el software Vensim de la ecuación y unidades del flujo de nacimientos.....146
Figura 64
Valores iniciales del modelo ecuaciones y unidades del stock.....147
Figura 65
Variables de salida del stock en el modelo poblacional.....148
Figura 66
Modelo final poblacional de Ecuador.....149
Figura 67
Comprobación que el modelo y las unidades están correctas.....149
Figura 68
Test de estabilidad del sistema.....150

Figura 69
Nacimientos en el Ecuador desde el año 1990 al 2024 (INEC, 2024). 151
Figura 70
Muertes en el Ecuador desde el año 1990 al 2024 (INEC, 2024). 151
Figura 71
Entradas, salidas, flujo migratorio general y saldo migratorio 152
Figura 72
Modelación poblacional del Ecuador con tasa constante desde el año 1990 al 2100 153
Figura 73
Función que mejor se ajusta de la dinámica de nacimientos de los censos del INEC 154
Figura 74
Función que mejor se ajusta a la dinámica de muertes de los censos del INEC 154
Figura 75
Modelo poblacional del Ecuador con tasa variable en el software académico Vensim 155
Figura 76
Modelo poblacional del Ecuador con tasa variable 156
Figura 77
Dotaciones y consumo para proyectos nuevos y sistemas en operación en agua potable y saneamiento 158
Figura 78
Tipos de consumo de acuerdo a tipos de usuarios (CONAGUA, 2019a) 159
Figura 79
Catastro de la población donde se va a realizar el censo sanitario 165
Figura 80
Sectorización que realizan los líderes de los barrios 166
Figura 81
Base de datos que se obtiene del censo sanitario 166
Figura 82
Sectorización real obtenida del censo sanitario 169
Figura 83
Expansión futura de la población en función del periodo óptimo de diseño y el consumo de agua potable obtenido del censo sanitario 171
Figura 84
Caudal medio anual diario de una población cualquiera 172

Figura 85
Caudal máximo diario de una población cualquiera.....173
Figura 86
Caudal máximo horario de una población cualquiera.....173
Figura 87
Esqueletización de la red de agua potable con suministro de una cuenca hidrográfica superficial de una población futura de Manabí de 5000 habitantes. 179
Figura 88
Detalle en planta y en corte del diseño hidráulico del tanque de distribución sin escala.....181
Figura 89
Esquema en perfil de un sistema de distribución de agua desde un pozo, sin escala 182
Figura 90
Tanque superficial (CONAGUA, 2019c)......185
Figura 91
Desarrollo histórico de simulación matemática aplicados a redes de distribución de redes de agua potable (CONAGUA, 2019d).....185
Figura 92
Diagrama de un modelo hidráulico de flujo permanente 186
Figura 93
Diagrama de un modelo hidráulico de flujo no permanente 187
Figura 94
Esqueletización de la red a) plano de la red de distribución, b) plano topográfico 216
Figura 95
Agregación espacial considerando las reglas 1.6 y 7 217
Figura 96
Agregación espacial considerando reglas 3, 4 y 5 218
Figura 97
Agregación espacial considerando la regla 8 218
Figura 98
Asignación de demandas a los nodos de consumo 219
Figura 99
Red de ejemplo para asignar demanda 220
Figura 100
Red de eje.....228

Figura 101
Se muestra en (a): el mapa recurrente de la variable precipitación. En (b), (c) y (d): se indican las estructuras encontradas en tres acercamientos de distintas zonas del mapa recurrente. 248
Figura 102
Diques permeables con materiales biodegradables construidos en las quebradas del volcán Ilaló 250
Figura 103
Estratos subterráneos saturados con agua por efecto de los diques permeables construidos en el volcán Ilaló como soluciones basadas en la naturaleza 252
Figura 104
Eficiencia hídrica en edificaciones 253
Figura 105
Cuencas urbanas con las líneas de corriente 255
Figura 106
Microcuencas de la zona de estudio de acuerdo a las líneas de corriente 257
Figura 107
Libro del INAMHI con ecuaciones para calcular la intensidad en Ecuador 260
Figura 108
Intensidad, duración, frecuencia de la estación M0002, La Tola 261
Figura 109
Caudales máximos asociados al periodo de retorno con el método del hidrograma unitario de Clark obtenido con el software HEC-HMS 268



CAPÍTULO I

Conceptos generales

1. El agua

El agua es un recurso natural y abundante en la Tierra, y es fundamental para la vida en el planeta. Según el sexto Objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS 6), el acceso al agua potable, al saneamiento y la higiene son derechos humanos para la salud y el bienestar, por lo que se debe proteger las cuencas hidrográficas, fomentando la eficiencia del consumo de agua y la reducción de la contaminación. Este elemento ha existido desde el inicio de los tiempos, el 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, pero únicamente el 2,53% es agua dulce. La mayor parte de esta agua dulce se encuentra en forma de glaciares, hielo y nieve permanente en la Antártida y en Groenlandia (Fernández-Cirelli, 2018).

El agua es uno de los recursos naturales imprescindibles para todo ser vivo, además de su compleja naturaleza, su presencia evoca belleza y en otros escenarios, puede ser problemática como, por ejemplo, con inundaciones, contaminación de cuerpos de agua, maremotos, entre otros.

Para algunas personas, el agua llega a sus hogares sin el mayor esfuerzo, otras deben dirigirse hacia este recurso, esperando incluso días para conseguirlo; en otros contextos, muchas personas también luchan por la obtención de agua adecuada para su consumo, convirtiéndose este elemento en el pilar fundamental de la vida y la civilización (Camargo & Camacho, 2018).

En la actualidad, la preocupación por el agua es una constante para todos, independientemente de las circunstancias individuales. Esta preocupación surge mucho antes, el ser humano siempre ha almacenado y distribuido este elemento desde el origen de la agricultura hasta nuestros tiempos, empleándola para el desarrollo de cada país. Los primeros asentamientos humanos siempre fueron establecidos en lugares cercanos a lagos y ríos, y precisamente por esto, las sociedades pudieron desarrollarse hasta alcanzar el punto en el que las conocemos ahora (CEPAL, 2024).

Con el pasar del tiempo, según (CEPAL, 2024) estos asentamientos empezaron a evolucionar y aumentar exponencialmente su población, y junto con ello, la contaminación. Este fenómeno y la creciente demanda de agua limpia y segura genera la necesidad de desarrollar mecanismos para tratar el agua, desde procesos como la filtración, calentamiento y otros, hasta eventualmente conducir a la creación de sistemas de suministro de agua potable.

1.1. Planeta Agua: La vida en el agua

Los científicos describen el agua como la esencia de la vida, destacando su prevalencia en la Tierra, señalan que el 70% de la superficie del planeta y el 70% de los cuerpos de mamíferos están compuestos por agua. La importancia de este elemento para los organismos vivos va desde facilitar funciones corporales y reacciones químicas, hasta servir como lubricante para las articulaciones, es además un solvente universal. Existen diversos ecosistemas formados por agua, desde océanos y ríos hasta aquellos donde es abundante, como en selvas tropicales. El agua influye no solo en los paisajes y patrones climáticos, sino también en la adaptabilidad de los organismos vivos a su entorno (National Geographic, 2006).

Desde las profundidades del océano hasta las cumbres nevadas, el agua se encuentra en un movimiento constante, evaporándose, condensándose y precipitándose en un ciclo interminable que da vida a nuestro planeta.

La conexión histórica entre el agua y los orígenes de la vida resalta la estabilidad de la cantidad de este recurso en la Tierra a lo largo de los milenios. En este contexto, el agua se revela como un elemento fundamental de los ecosistemas, desde las concentraciones masivas de aves en las zonas costeras hasta la extraordinaria biodiversidad de las selvas tropicales. Asimismo, permite comprender la diversidad de ecosistemas acuáticos, que comprende desde las cuencas hidrográficas y los océanos hasta los acuíferos.

Diversos estudios han documentado los múltiples estados físicos y procesos que experimenta el agua, tanto en los océanos como en los continentes, destacando su participación en el ciclo hidrológico y su contribución a través del vapor atmosférico (National Geographic, 2006). Por ello, analizar la profunda relación entre este recurso vital y la vida resulta fundamental para comprender la importancia de su conservación y promover la protección de nuestro planeta para las generaciones venideras.

1.2. Ciclo del agua potable

El ser humano ha desarrollado varias infraestructuras para tratar y distribuir el agua, mejorando su utilización para posteriormente regresarla al medio ambiente, conociendo esto técnicamente como el ciclo de agua potable (ACCIONA, 2024).

El ciclo del agua potable está compuesto por el abastecimiento, utilización y el saneamiento. Dentro de la fase de abastecimiento se realiza la captación, tratamiento, almacenamiento y distribución, mientras que en la fase de utilización se da el consumo del agua (diferenciado por el uso); finalmente, la etapa de saneamiento se refiere a que el agua que se aprovecha, retorne al medio ambiente, o pueda volver a ser utilizada, además, de implicar la recogida, depuración y regreso del agua (Valdezate-Arranz & García Calvo, 2020). Tal como se indica en la Figura 1.

Figura 1

Ciclo del Agua potable



Nota. Etapas del Ciclo del Agua potable. Tomado de (Valdezate-Arranz & García Calvo, 2020).

1.3. Infraestructura Hidráulica

En las últimas décadas, se ha observado un notable avance en la calidad de los servicios de infraestructura en América Latina y el Caribe. Sin embargo, persisten notables deficiencias en los servicios relacionados con el agua y el saneamiento (Observatorio para América Latina y el Caribe de Agua y Saneamiento (OLAS), 2024).

Según los datos de BID/LAPOP 2019, en 2018, el hogar promedio en América Latina y el Caribe tenía acceso a agua durante 18 horas al día. Aunque la cobertura de agua potable ronda el 80% en la mayoría de los países, menos del 60% de las personas elige consumir agua del grifo. En México, solo el 16% de la población bebe agua del grifo, a pesar de una cobertura del 81%. El tratamiento de agua potable y aguas residuales está relacionado con la calidad de suministro de agua. La región presenta un rezago en los servicios de tratamiento de aguas residuales, con solo el 22% siendo manejadas de manera segura, aunque Chile (85%) y Uruguay (63%) han avanzado significativamente. En comparación mundial, solo África y el Sur de Asia tienen un desempeño inferior a América Latina y el Caribe en este aspecto (Observatorio para América Latina y el Caribe de Agua y Saneamiento (OLAS), 2024).

1.4. Ingeniería del agua en América Asia y Europa

Historia del agua

Desde sus inicios, la humanidad ha elegido establecerse cerca del agua dulce, ya sea en lagos o ríos. En torno a estas fuentes vitales, las primeras comunidades se formaron y dieron origen a las sociedades como se las conoce hoy en día. Un ejemplo temprano se encuentra en Jericó (Israel) hace 7.000 años, donde el agua se almacenaba en pozos. La necesidad de llevarla a diferentes lugares impulsó la creación de sistemas de transporte y distribución, utilizando inicialmente canales simples excavados en la tierra hasta las escorrentías (Yuval Noah Harari, 2014).

Ante esto, el crecimiento poblacional impulsó la creación de mejores sistemas de almacenamiento y distribución, llevando a la construcción de las primeras redes a gran escala, como se indica en la Figura 2.

Los griegos fueron pioneros en preocuparse por la calidad del agua, siendo los primeros en implementar sistemas de aguas residuales y embalses de aireación para su purificación. Esta innovación marcó un hito en la historia del agua, evidenciando la importancia de este recurso vital para la salud y el bienestar de las comunidades (Yuval Noah Harari, 2014).

Figura 2

Vista a la ciudad de Atenas, Grecia



La Ciudad sobre el Agua en México

La Ciudad de México, actualmente habitada por 23 millones de personas, se encuentra sobre cinco antiguos lagos en una cuenca hidrológica. Tenochtitlán, la capital del imperio mexica, fue extinguida. Los conquistadores españoles la destruyeron y construyeron una ciudad más acorde con patrones europeos, tratando al agua que era sagrada para los antepasados. Durante 400 años desaparecieron 1100 km^2 de agua de la Cuenca de México, experimentando una de las transformaciones ecológicas más radicales del planeta (Canal 11 TV México, 2024).

La Cuenca de México, rodeada por sierras, montañas y volcanes, incluyendo el Popocatépetl y el Iztaccíhuatl, solía albergar lagos como Texcoco, Chalco, Zumpango, Xaltocan y Xochimilco. Estos lagos formaban una región lacustre conectada, proporcionando agua desde Huehuetoca hasta Xochimilco y desde Texcoco hasta Tacuba-Azcapotzalco. La ubicación privilegiada atrajo a grupos humanos desde la prehistoria, dando paso al desarrollo de la agricultura y las chinampas (parcelas en humedales), marcando el surgimiento de civilizacio-

nes como Cuicuilco y Teotihuacán. La relación fundamental de Tenochtitlan con el agua cambió con la llegada de los españoles en 1521. Se enfrentaron a la superioridad militar, y tras la conquista, la ciudad comenzó a experimentar problemas de inundación (Canal 11 TV México, 2024).

A lo largo de los siglos, se propusieron soluciones indígenas e incluso la construcción de un túnel en Huehuetoca en 1629, pero la ciudad continuó enfrentando inundaciones. En los siglos XX cuando España colonizaba aun los territorios actuales de México, científicos y arquitectos europeos trazaron los planos urbanos y diseño de redes de servicio, aunque no hubo mucha transformación hasta siglo XVII siglo en que se construyó el "Gran Canal del Desagüe" y el primer túnel de Tequixquiac en el siglo XVII. A pesar de estas grandes obras hidráulicas, para 1604 la ciudad nuevamente estaba sufriendo inundaciones debido a causas de deficiencia en el diseño de (Canal 11 TV México, 2024).

Disputas de líderes políticos llevaron a paralizaciones, cambios en el diseño o abandono de proyectos hidráulicos durante el siglo XIX, situación que no mejoró mucho hasta haber superado la Revolución Mexicana. Ya cursando el siglo XX, el crecimiento demográfico acelerado causó nuevamente estragos que incluso tuvieron que utilizarse los ríos como drenajes y facilitar el acomodo de nuevos barrios en la capital mexicana (Canal 11 TV México, 2024).

En 1975 con la colaboración del gobierno central se llevó a cabo la construcción e inauguración del sistema de drenajes, mismo que desde el comienzo presentó problemas serios al estar diseñado para aguas lluvias y ser utilizado también como drenaje sanitario, mezclando y contaminando así el agua. Al igual que en el siglo XX los crecimientos demográficos acelerados no fueron la excepción, esto produjo la construcción de una gran cantidad de obras de prevención de inundaciones (Canal 11 TV México, 2024).

A pesar de estos esfuerzos, la capacidad del sistema hidráulico sigue siendo un desafío, especialmente con una población que duplica las expectativas originales. Se exploran continuamente soluciones para gestionar las aguas pluviales y negras de manera efectiva en la Ciudad de México (Canal 11 TV México, 2024).

La destrucción de las chinampas

Las chinampas eran un sistema de cultivo altamente productivo que permitía a los mexicas obtener hasta tres cosechas al año. Estaban formadas por

plataformas artificiales construidas sobre el agua, y se cultivaban con una técnica que combinaba la agricultura con la pesca (Díaz del Castillo et al., 2014).

Los españoles expresaban admiración por el panorama extraordinario que veían, los asentamientos de ciudades y villas densamente pobladas y un sinnúmero de canoas que permitían acceso a la red de canales que se extendían por las ciudades como en la Figura 3. Por ello, los españoles consideraban a las chinampas como un obstáculo para la expansión de la ciudad y las destruyeron de forma sistemática, tanto durante la conquista como en los siglos posteriores (Díaz del Castillo et al., 2014).

Figura 3

Canales como vías de comunicación en México



Nota. Obtenido de agua.org.mx, (2024)

El drenaje de los lagos

El drenaje de los lagos de la cuenca de México fue un proceso gradual que se prolongó durante varios siglos. Los españoles iniciaron el drenaje para facilitar la construcción de la ciudad, y continuaron con él durante la época colonial y el periodo independiente. "Pedro de Alvarado suprimió el abasto de agua potable desde Chapultepec y los aliados de Cortés destruyeron las calzadas, los puentes y los acueductos" (Díaz del Castillo et al., 2014). El drenaje tuvo un impacto devastador en el medio ambiente de la cuenca de México. Los lagos

se secaron, dando lugar a la formación de grandes extensiones de tierra firme. Este proceso provocó la pérdida de biodiversidad, la contaminación del agua y el aumento de las inundaciones.

Las consecuencias del desalojo de las aguas

En el documental "El desalojo de las aguas" (Canal 11 TV México, 2024), la cuenca de México ha tenido graves consecuencias para la ciudad y la región. Entre ellas, se encuentran:

1. La pérdida de biodiversidad: La desaparición de los lagos y los humedales ha provocado la pérdida de una gran variedad de especies de plantas y animales.
2. La contaminación hídrica: los drenajes provocan la polución de cuencas hidrográficas y aguas subterráneas.
3. Inundaciones: Los drenajes ya no tienen la capacidad para retener el agua de los lagos.

Hoy en día, la escasez hídrica es un problema crítico para la Ciudad de México debido a los drenajes que reducen la disponibilidad de las cuencas hidrográficas, por otro lado, la contaminación de este recurso vital ha hecho que no sean aptas para el consumo humano.

Causas detrás del desalojo de las aguas

Los españoles desalojaron las cuencas hidrográficas de México por las siguientes causas (Jiménez et al., 2010):

1. Causas políticas: El poder colonial buscaba centralizarse, pero los lagos impedían el dominio del territorio, querían imponer el diseño con nuevas identidades culturales con la destrucción de la ciudad Tenochtitlan que formaba parte del patrimonio cultural del poderío azteca, debido a este proceso histórico la ciudad de México es el proceso de la destrucción y la reconstrucción.
2. Causas económicas: La creciente población tenía la necesidad de alimentarse y los terrenos fértiles eran ideales para la ganadería y agricultura que proporcionaron alimentos y desarrollo económico.
3. Causas sanitarias: La insalubridad era un problema recurrente para la población por las constantes inundaciones, aguas estancas y la falta de sistemas de saneamiento.

Evolución del desalojo de las aguas

Este es un proceso gradual donde la época colonial facilitó la construcción de obras de protección (Figura 4) para evitar los problemas de inundación y mejorar la salubridad de la ciudad que se prolongó por varios siglos, mientras que en la actualidad en la temporada de precipitaciones existe un gran impacto ambiental causado por factores como el aumento poblacional, impermeabilización del suelo y desprendimiento de la ciudad, debido a esto, el gobierno ha construido obras hidráulicas para contribuir a la protección del medio ambiente, sin embargo no es suficiente para superar las inundaciones de manera permanente (Canal 11 TV México, 2024).

Figura 4

Obra hidráulica en el gobierno de Porfirio Diaz en Zumpango



Nota. Obtenido de El Sol de Toluca, (2024)

Una alternativa viable para las aguas en la ciudad México, como se indica en la Figura 5, permitió reducir la cantidad de agua que debe ser evacuada por los túneles, y a su vez, reducir los costos de las obras de infraestructura hidráulica. Sin embargo, esta solución plantea un desafío social, ya que implicaría la reubicación de las personas que viven en las zonas inundables (Canal 11 TV México, 2024).

Figura 5

Presa Endhó en el Valle del Mezquital



1.5. Ingeniería del agua en América

Aproximadamente el 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, pero de esta cantidad, un 97,5%, es agua salada, dejando solo un 2,5% de agua dulce. Los polos de la tierra con sus inmensos glaciares son las principales reservas de agua dulce que existen, así como el agua que hay en las capas subterráneas, almacenada a profundidades de hasta 1000 metros. Solo un pequeño porcentaje, alrededor del 0,4%, fácilmente accesible a través de lagos y ríos. La distribución de los recursos hídricos en el mundo es desigual, con América siendo el único continente donde los recursos hídricos están más abundantemente disponibles en comparación con su población. Latinoamérica, que representa el 6% de la población mundial y el 12% del territorio mundial, posee aproximadamente un tercio del agua dulce disponible (Solís Sosa, 2023).

Los recursos de agua en esta área son de gran relevancia a nivel mundial, ya sea en forma subterránea, como el caso del acuífero guaraní, o en su forma

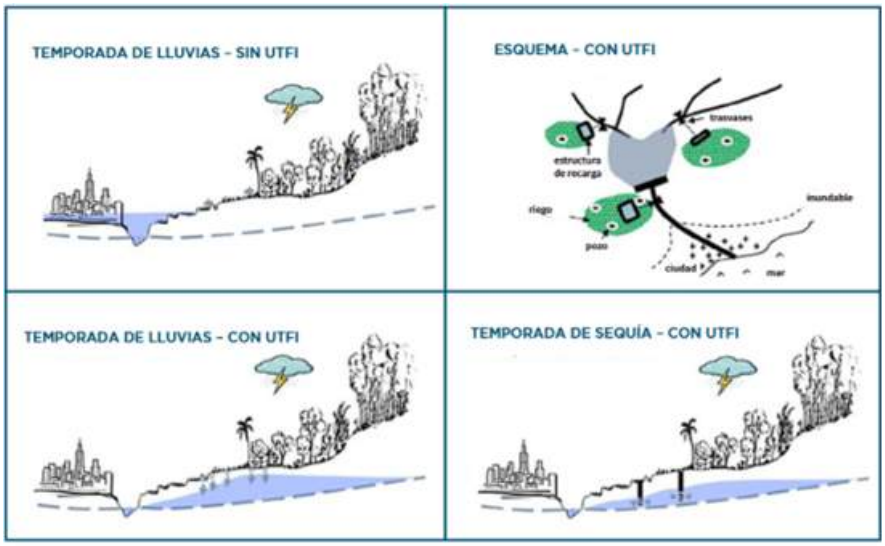
superficial, como las cuencas del Amazonas, el Orinoco y la del Plata. En Latinoamérica y el Caribe, la población actual de 625 millones de personas duplica la cifra registrada en 1975, que era de 316 millones, y el 75% de esta población reside en áreas urbanas (Solís Sosa, 2023).

En el mundo, unos 65 millones de personas aun no cuentan con servicio de agua potable en sectores rurales, entre tanto que alrededor del 85 % de la población que habita en ciudades sí tiene acceso a fuentes de agua tratada para el consumo humano. Sin embargo, el acceso al saneamiento es más limitado que al agua potable, con un 30% en Haití y casi un 90% en Uruguay. Los países con ingresos bajos que se encuentran en situaciones delicadas en cuanto a la seguridad alimentaria, menor índice de esperanza de vida y gran porcentaje de mortalidad en niños o infantes son los países que menos acceso al agua tienen (Solís Sosa, 2023).

Esta correlación se refleja también en la conexión entre el Índice de Desarrollo Humano (IDH), que considera factores como la esperanza de vida, la alfabetización y el PIB per cápita, y el acceso al saneamiento. Por tanto, el conocimiento adquirido por parte de los profesionales debería ser capaces para llevar a cabo obras eficaces y eficientes, como se muestra en la Figura 6. Los países latinoamericanos con un IDH más alto son aquellos que cuentan con un mayor acceso al saneamiento (Solís Sosa, 2023).

Figura 6

Manejo de inundaciones para el riego. Underground Taming of Floods for Irrigation (UTFI)



Nota. Obtenido de Solís Sosa, (2023)

1.6. Ingeniería del Agua en Asia

Con el crecimiento de la población humana, las demandas alimentarias aumentaron, generando una mayor necesidad de agua para la producción de alimentos. Las relaciones entre el agua y los alimentos siempre han sido cruciales, pero se han vuelto más complejas debido a consideraciones sociales y ambientales, la globalización, los avances tecnológicos y las prácticas de gestión. La llegada de la revolución industrial marcó un cambio radical en esta dinámica. Las necesidades industriales de agua aumentaron rápidamente, al igual que la necesidad de recolectar, tratar y desechar de manera ecológica las aguas residuales generadas (Asia Development Bank, 2007).

Durante los años setenta, los problemas ambientales en la gestión del agua ganaron relevancia no solo en Asia, sino también a nivel global. Cada vez más, todas las actividades de desarrollo, incluidas aquellas relacionadas con el agua, tuvieron que abordar de manera seria y amplia las implicaciones ambientales. Estas consideraciones fueron impulsadas fuertemente durante los años ochenta y ahora son ampliamente aceptadas como un requisito fundamental para una gestión del agua eficaz y racional (Asia Development Bank, 2007).

La industrialización acelerada y el creciente deseo de una mejor calidad de vida han generado un aumento en las demandas energéticas en los países en desarrollo de Asia. Este incremento se ha manifestado en la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas, como se plasma en la Figura 7. En los últimos años, el desarrollo ha traído consigo importantes implicaciones relacionadas con el agua, aspectos que hasta ahora han sido pasados por alto tanto por los expertos en agua y energía como por los responsables políticos.

Figura 7

Represa de las tres gargantas, China



Nota. Obtenido de El Universo (2024)

1.7. Ingeniería del Agua en Europa

La ingeniería del agua en Europa aborda la gestión y tratamiento del recurso hídrico. Aunque los instrumentos europeos de derechos humanos no reconocen explícitamente el derecho al agua, la Carta Europea del Agua de 1967 refleja la preocupación del Consejo de Europa. La disparidad económica y social entre los 56 estados miembros resulta en problemas de acceso al agua potable y saneamiento, especialmente entre colectivos vulnerables. En la Unión Europea, normativas como la Directiva de Aguas Residuales Urbanas de 1991 y la de 2000 buscan abordar la problemática del agua. Estos actos de derecho derivado se integran en políticas ambientales y de salud pública, equilibrando la necesidad de acceso con la preservación del medio ambiente. La segunda parte de este trabajo se centra en el estudio detallado de estas normas comunitarias en materia de agua. En resumen, la ingeniería del agua en Europa busca superar desafíos para garantizar la equidad en el acceso, la protección de derechos humanos y la sostenibilidad del recurso hídrico (Cebrián Águila & Díez Peralta, 2013).

1.8. Historia del agua en Ecuador

El Ecuador es uno de los países de Sudamérica con más cantidad de volumen de agua en ríos por habitante, sus principales ríos se encuentran en la Amazonía, destacando por su tamaño e importancia los ríos Coca y Napo. No es de extrañar que alrededor del 70% de la energía eléctrica generada por el país sea de origen hidráulico. Al igual que el resto de la región, la historia del Ecuador está estrechamente ligada a sus vecinos y su relación colonial con el reino de España, sin embargo antes de la llegada de estos, muchos pueblos autóctonos ya residían en esas tierras, civilizaciones como los Incas o Huancavilcas ya contaban con sociedades avanzadas para la época, y conocían perfectamente la importancia y las bondades del acceso al agua para sus necesidades básicas en la comunidad, así como sus fines agrícolas (Pourrut, 1995).

Durante la época colonial, el agua que se abastecía a Quito bajaba desde las faldas del volcán Pichincha mediante canales, que, al parecer, ya estaban construidos antes de la llegada de los españoles. El uso del agua en la población urbana de ese entonces estaba regulado por la autoridad denominada alcalde de Aguas (Luzuriaga Jaramillo, 2013) .

Transcurriendo el siglo XX el país vivió una rápida industrialización de muchas de sus principales actividades económicas, llevando consigo un acelerado crecimiento urbano que en consecuencia aumentaron en gran medida la demanda de recursos hídricos en la ciudad, que llevó a la construcción de grandes proyectos de redes de agua potable, así como presas de almacenamiento para varios propósitos (Pourrut, 1995).

Crecimiento del suministro del agua en el Ecuador

El alcance, la calidad y nivel de servicio disponibles para los habitantes del Ecuador varía mucho entre sus zonas urbanas y rurales, mientras que en zonas urbanas el alcance de estos sistemas de agua potable y alcantarillado ronda un 89%, en la parte rural este alcance es menor, dejando a un 35% de sus habitantes en difíciles condiciones de acceso a agua y saneamiento (Observatorio para América Latina y el Caribe de Agua y Saneamiento (OLAS), 2024).

La disponibilidad de agua puede cambiar significativamente, desde 4.320 km^3 durante la época de precipitaciones hasta 146 km^3 la época de sequía, pero la mayor parte de este recurso hídrico el 86% fluyen por la Amazonía y se vierte en el Océano Atlántico y un 14% se dirige hacia el Océano Pacifico.

En este contexto, Ecuador ha implementado iniciativas de conservación de las cuencas hídricas con programas y políticas con la finalidad de salvaguardar estos recursos hídricos y conservar la biodiversidad involucrando a las comunidades locales (Observatorio para América Latina y el Caribe de Agua y Saneamiento (OLAS), 2024).

De este modo, en el Ecuador, se construyeron represas para la generación de energía y reducción de combustibles fósiles para el aprovechamiento de su potencial hidroeléctrico (Naranjo-Silva et al., 2023).

En los últimos años, durante el gobierno liderado por el expresidente Rafael Correa, hubo un gran auge en la construcción de hidroeléctricas, al declarar al sector energético en emergencia fue posible contratar la construcción de muchas de estas obras con la finalidad de generar energía o proyectos multipropósito, lamentablemente muchos de estos proyectos fueron mal concebidos, mal diseñados o mal ejecutados y a pesar de la gran inversión, aun el país no supera las dificultades de acceso al agua o prevención de inundaciones, que eran solo algunas de las muchas funciones que tenían todos estos proyectos. En la Figura 8 se muestra la presa de Paute, ubicada en la provincia del Azuay (Primicias, 2025).

Figura 8

Hidroeléctrica Daniel Palacios



Nota. Obtenido de Primicias (2025)

Algunas de las instituciones que norman el uso, aprovechamiento y tratamiento de las aguas fueron:

1. Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (EX-IEOS). Fue una institución conformada por personal técnico especializado, mayormente ingenieros civiles perteneciente al ministerio de salud pública, mismo que es encargado del cuidado y prevención de enfermedades en el país (IEOS, 2025).
2. Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI). Adscrito al ministerio de agricultura y ganadería tiene facultades como personería jurídica frente al derecho público. Encargado de los proyectos de riego (FAO, 2025).
3. Instituto Nacional de Electrificación (INECEL). Fue una institución pública del gobierno nacional encargada de la generación eléctrica en todos sus métodos, incluyendo la generación hidroeléctrica (Geonergía, 2025).

En 1992, en el gobierno de Sixto Durán Ballén hubo acontecimientos graves de crisis energéticas que consistía en reducir el consumo de energía eléctrica y evitar apagones que se basaba de un apagón obligatorio de dos horas diarias, de lunes a viernes, en todo el país, que fue conocido como la hora de Sixto o Sixtina (El Comercio, 2025a).

Ecuador experimentó en 1998 la combinación de los fenómenos de El Niño y La Niña que provoco una sequía severa que afectó la generación de energía hidroeléctrica, ocasionando apagones en todo el país. La situación también contribuyó al aumento de la delincuencia, daños extensos a cultivos e infraestructura vial, y considerables pérdidas económicas. En respuesta, el gobierno del Ecuador, Implementó medidas para mitigar los efectos de los apagones, incluyendo la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas y termoeléctricas, así como, mejoras en la infraestructura de transmisión y distribución (El Universo, 2025).

En el año 2015 la creación de la SENAGUA (Secretaria Nacional del Agua), por el presidente del Ecuador, esta a su vez se encuentra conformada por la Empresa Pública de Agua (EPA), la misma que está a cargo de las presas multipropósitos, exceptuando las hidroeléctricas, como por ejemplo Chone, y la Agencia Reguladora de Control de Agua (ARCA), quien emite permisos o certificados para el aprovechamiento de agua y reporta las aguas no contabilizadas (ANC). En el año 2025 los entes mencionados son parte del Ministerio de Agua, Ambiente y Transición Ecológica (MAATE), Figura 9.

Figura 9

Autoridad única del agua. Ecuador



Nota. Obtenido de SENAGUA (2025)

SENAGUA, o la Secretaría del Agua, es una entidad adscrita al Ministerio de Ambiente y Agua de Ecuador. Se encarga de la gestión integral del agua del país, incluyendo:

1. Planificación y gestión de las cuencas hidrográficas.
2. Otorgamiento de permisos de uso de agua.
3. Control de calidad del agua.
4. Prevención y control de la contaminación del agua.
5. Promoción del uso eficiente del agua.
6. Desarrollo de proyectos de suministro de agua potable y residual.

En 2020, SENAGUA se fusionó con el Ministerio del Ambiente para crear el actual Ministerio de Ambiente y Agua y Transición Ecológica. La entidad enfrenta desafíos como la escasez, la contaminación del agua y el cambio climático, pero trabaja en proyectos como el Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento y el Plan Nacional de Gestión de Cuencas Hidrográficas para abordarlos en la Tabla 1 se detalla las denominaciones la SENAGUA y el año de creación (MAATE, 2025).

El Ministerio de Ambiente y Energía de Ecuador fue creado mediante fusión por Decreto No. 94 en agosto de 2025, y la Secretaría del Agua fue reorganizada en nueve demarcaciones hidrográficas según el Acuerdo Ministerial MAATE-MAATE-2025-0029-A (Revelo, 2025).

En agosto de 2025, el presidente Daniel Noboa oficializó la fusión por absorción del Ministerio del Ambiente con el Ministerio de Energía. El nuevo ente se denomina Ministerio de Ambiente y Energía, y busca mayor eficiencia administrativa y alineación con modelos internacionales como el de Costa Rica. Su estructura incluye: Subsecretaría de Territorio y Seguimiento Ambiental, Dirección de Transición Energética, Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM), Plan de Reducción de Pérdidas Eléctricas (PLANREP), Gestión Sostenible de Recursos del Subsuelo, Educación Ambiental y Ciencia Aplicada (Revelo, 2025).

En mayo de 2025, se publicó el Acuerdo Ministerial MAATE-MAATE-2025-0029-A, que establece una nueva estructura para la gestión hídrica nacional (PBPLaw, 2025).

La Secretaría del Agua fue reorganizada en 9 Demarcaciones Hidrográficas: Mira, Esmeraldas, Pastaza, Manabí, Guayas, Jubones, Puyango-Catamayo, Napo y Santiago. Cada demarcación cuenta con Centros de Atención al Ciudadano y unidades locales para planificación y control del recurso hídrico (PBPLaw, 2025).

La normativa vigente para proyectos de agua potable y alcantarillado es el Código Ecuatoriano para el Diseño de la Construcción de Obras Sanitarias, en su momento de creación, la Secretaría de Agua Potable y Saneamiento Básico (SAPYSB). En la Tabla 1 se presentan las denominaciones o nombres que ha tenido en el Ecuador las normas de diseño y construcción de obras sanitarias.

Tabla 1

Denominaciones que ha tenido SAPYSB en Ecuador

Denominaciones de la SAPYSB en Ecuador hasta la actualidad	
1. Servicio Nacional de Agua Potable y Saneamiento (SENAGUA)	▪ Este fue el nombre original de la entidad, creado en 1998. ▪ Se mantuvo hasta el año 2007.
2. Subsecretaría del Agua Potable y Saneamiento Básico (SAPYBS)	▪ Se creó en 2007 como parte del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). ▪ Se mantuvo hasta el año 2013.
3. Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA):	▪ Se creó en 2013 como parte del Ministerio del Ambiente. ▪ Se mantuvo hasta el año 2020.
4. Subsecretaría del Agua Potable y Saneamiento es el Ministerio de Ambiente y Agua y Transición Ecológica.	▪ Se creó en 2020 como parte del Ministerio de Ambiente y Agua.

5. Secretaría del Agua.	▪ Se creó en agosto del 2025 y lo administra el nuevo Ministerio de Ambiente y Energía.

Nota. Obtenido de MAATE, (2025)

Cuerpos de agua más importantes en el Ecuador

Ecuador tiene una extensión de 256,370 km^2, las ciudades de mayor desarrollo económico y social dentro del país son Quito, Guayaquil y Cuenca (Merizalde Véliz et al., 2023). El territorio ecuatoriano se encuentra dividido en 31 sistemas hidrográficos, mismos que se conforman por 79 cuencas hídricas (MAATE, 2025b).

En la ciudad de Quito hay 4 ríos de importancia superior, los cuales son: Machángara, Guayllabamba, Monjas y San Pedro, con una longitud de 22.5 km, 175.3 km, 24.3 km y 53.9 km respectivamente (Flores Rendón, 2019).

El Machángara nace en las ramificaciones del Atacazo y el Pichincha, para unirse al río San Pedro. Debido al grado de contaminación de este efluente no puede utilizarse con fines domésticos, agrícolas o pecuarios (El Telégrafo, 2025). El principal uso que se le ha dado al río Machángara es para descargar directamente sin tratamiento previo aguas residuales, con el fin de recuperar su espacio en sus márgenes se han construido parques lineales (Expreso, 2025).

En los sectores de Atucucho y Pisulí nace el río Monjas y desemboca en el río Guayllabamba. La importancia de este río recae en las zonas de alta pendiente debido a que mantiene una carga hídrica consumible para el ser humano (El Comercio, 2025b).

El río San Pedro nace de los deshielos del volcán Illinizas, su principal afluente es el río Pita y también desemboca en el río Guayllabamba. Su problema en la actualidad es la gran cantidad de residuos domésticos que recibe día a día, principalmente por tuberías de descarga de aguas residuales sin tratar directamente al río (El Comercio, 2025b).

El río Guayllabamba atraviesa cinco cantones de la provincia de Pichincha: Mejía, Rumiñahui, Cayambe, Pedro Moncayo y Quito. Se alimenta de distintas vertientes provenientes de los volcanes Cotopaxi, Sincholahua y Rumiñahui, es un afluente del río Esmeraldas, es decir, desemboca en él. Debido a la importancia de sus aguas en 2018 se declaró área de protección hídrica del país (Prefectura de Pichincha, 2025).

En la ciudad de Guayaquil el río más importante es el Guayas, nace a la altura de La Puntilla, sus principales afluentes son el río Daule y el río Babahoyo, desemboca en el Golfo de Guayaquil - Océano Pacifico (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2020).

La importancia del río Guayas en la ciudad portuaria es que su agua se utiliza para cultivos de camarón y para preservación de la flora y fauna del manglar, pese a su importancia se ha producido un alto nivel de contaminación, lo que compromete directamente la salud del ser humano, de la flora y la fauna (Baquerizo et al., 2019).

En Cuenca, la Atenas del Ecuador, se pueden encontrar cuatro ríos que destacan como corredores biológicos de aguas limpias. El río Machángara nace en los páramos de las parroquias Checa y Chiquintad, su superficie es de 325 km2, sigue su curso hasta unirse con el río Tomebamba. "Su importancia recae en que sus aguas se usan para el consumo humano, energía hidroeléctrica, riego, industrias y recreación" (Si Se puede Ecuador, 2025).

El río Tomebamba nace en el sector Tres Cruces, su principal afluente es el río Yanuncay, cuando se une al río Machángara da origen al río Cuenca. Cuenta con riqueza ecosistémica y con variedad de atractivos turísticos lo que contribuye a la economía del país (Río del Planeta, 2025).

El río Tarqui nace en los páramos de Cumbe, su principal afluente es el río San Agustín, desembocando en el río Yanuncay. Su agua se utiliza con diversos fines, como el uso doméstico, riego y ganadería El río Yanuncay nace en los páramos de Angas, tiene una superficie de 41888 km2, desemboca en el río Tomebamba, tiene un aporte significativo para el abastecimiento de agua potable (Río del Planeta, 2025).

Historia del agua en Quito capital de Ecuador

El agua se ha venerado desde tiempos como fuente vital y símbolo sagrado para las comunidades indígenas de Los Andes. Estas comunidades han sido marginadas y privadas de derechos, incluido el acceso a este recurso en condiciones de calidad y cantidad adecuadas para mantener una buena salud. A lo largo de la historia, el agua ha sido motivo de conflictos y disputas, no solo por su calidad, sino también por los intentos de regular su uso. En América Latina, desde la época colonial, los grupos más poderosos han sido los más beneficiados. Durante el período republicano, los cambios en este sentido fueron escasos o inexistentes, y el control sobre el agua continuó en manos de los

grupos de élite y los líderes políticos influyentes. Incluso hoy, las fuentes de agua siguen siendo un objetivo atractivo para las grandes empresas de servicios públicos en las ciudades (Cagüeñas et al., 2020; Pacheco-Peña et al., 2023).

Desde 1537, el Cabildo de Quito ha sido fundamental en la regulación del suministro de agua desde los Incas y Quitus, emitiendo Ordenanzas como instrumentos clave en el proceso. Inicialmente, la ciudad se abastecía de agua de las fuentes del Pichincha, pero posteriormente en el año 1913 comenzó a obtener agua del Atacazo. Se construyó la primera acequia, conocida como Canal Municipal, para distribuir el agua por la ciudad. Además, se estableció la primera Planta de Purificación, El Placer, en la bajada de la Chorrera del Pichincha, utilizando el método de filtración (EPMAPS Agua de Quito, 2025).

El rápido crecimiento poblacional de la ciudad demandó la búsqueda de nuevas fuentes de agua. Así, en 1941 se implementaron proyectos como el Proyecto Zona Norte, que incluyó la construcción de pozos en La Carolina, y el Proyecto Zona Sur en 1950, que captó agua de vertientes en Lloa, Atacazo y Pichincha para dirigirla hacia la planta El Placer. El Placer marcó un hito en la gestión del agua en Quito, inaugurando así la Primera Planta con Tratamiento Completo de Potabilización de Agua, y sigue operando con mejoras continuas (EPMAPS Agua de Quito, 2025).

En un esfuerzo por mejorar la gestión del agua, el alcalde de Quito, Dr. Julio Moreno Espinoza, creó la Empresa de Agua Potable (EMAP-Q) mediante la Ordenanza N° 932. Posteriormente, se fusionaría con la Empresa Municipal de Alcantarillado de Quito. En 1977, se puso en marcha el Sistema Pita-Puengasí, que se convirtió en la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad, atendiendo a una población de 760 millones de habitantes y produciendo 2100 l/s (Pacheco-Peña et al., 2023).

El Sistema Papallacta se destaca como la principal fuente de agua potable para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), beneficiando a más de un millón de habitantes en la zona norte de la capital. Este sistema tiene una capacidad de producción de 3000.00 l/s. Por otro lado, el proyecto Sistema La Mica-Quito Sur y Planta de El Troje, concluidos en 1999, operan desde abril del 2000 y abastecen a 300,000 habitantes del sur del DMQ (EPMAPS Agua de Quito, 2025).

En los primeros años del siglo XXI, se llevó a cabo el ambicioso proyecto CHALPI GRANDE – PAPALLACTA, que marcó un hito en la historia del suministro de agua potable en Quito. El proyecto, desarrollado en los años 2000,

buscaba aumentar la capacidad de producción de agua potable en la ciudad. Se logró un incremento significativo de 2 200 litros por segundo en la capacidad de producción, lo que representó un avance crucial en la satisfacción de la creciente demanda de agua en las parroquias nororientales de Quito (EPMAPS Agua de Quito, 2025).

Además, como parte de este esfuerzo por mejorar la infraestructura de suministro de agua, se inició la construcción de una extensa línea de distribución de agua. Esta línea, con una longitud total de 40.25 kilómetros, se planificó y ejecutó para abastecer de manera eficiente y efectiva a las áreas del norte del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) que experimentaban un aumento en la demanda de agua potable (EPMAPS Agua de Quito, 2025).

Otro aspecto fundamental de este proyecto fue la construcción de una moderna planta de tratamiento de agua potable. Esta planta, concebida para operar con una capacidad de procesamiento de 1,300 l/s, fue diseñada para garantizar un suministro confiable y seguro de agua potable para las comunidades de Calderón, San Antonio de Pichincha y Calacalí. Estas obras de infraestructura representaron un paso adelante significativo en los esfuerzos de la ciudad para mejorar la calidad y la disponibilidad del agua potable para sus habitantes (EPMAPS Agua de Quito, 2025).

Primeras PTAP y PTAR en Quito capital de Ecuador

En 1882, peones desde Nono y La Magdalena, financiados Por Juan Dios Campuzano, hacen la acequia del Atacazo, captando agua de este para los pobladores. En 1887 es comprada por el Gobierno y en 1889 entregada al Municipio para continuar con una dotación de agua potable y alcantarillado a los ciudadanos. En 1913 el Ing. Shuatter diseña y construye la Planta de Purificación "El Placer" y el dispositivo de cloración del agua con una cobertura de 80 l/persona-día. Así, la primera PTAP de la capital fue la planta "El Placer" que se construyó en la década de 1960 junto a la creación de la Empresa Municipal de Agua Potable, EMAP-Q. En 1962 inicia la construcción de nuevas obras como: la planta de tratamiento de Puengasí, los reservorios de San Bartolo, Chiriacu, Bellavista y Chaupicruz con financiamiento del BID. En 1994 ocurre la unificación de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado, EMAAP-Q (EPMAPS Agua de Quito, 2025).

En 1997 se inauguró la PTAP Bellavista, la principal distribuidora de agua potable para la ciudad. Igual que con las PTAR, se han construido PTAP más pequeñas para abastecer zonas más locales dentro de la ciudad (EPMAPS Agua de Quito, 2025).

1.9. Ciudades inteligentes y los nuevos paradigmas en el manejo del agua

América Latina y el Caribe poseen casi una tercera parte de los recursos hídricos del mundo, la gestión del agua es un desafío debido a factores económicos y geográficos. La región enfrenta dificultades por su alta producción agrícola y minera, el crecimiento de extensas áreas metropolitanas alejadas de fuentes de agua y su fuerte urbanización (Cavallo Eduardo et al., 2020).

Históricamente, la administración del agua se ha realizado mediante sistemas centralizados, los cuales han demostrado ser ineficientes por la debilidad institucional y la falta de enfoque en la sostenibilidad económica. Además, los desafíos actuales, como el aumento de la demanda, la contaminación de reservas naturales y el impacto del cambio climático (zonas más áridas y eventos extremos como inundaciones y sequías), agravan la problemática (Cavallo Eduardo et al., 2020).

Para enfrentar estos retos, se plantea la necesidad de un nuevo paradigma en la gestión del agua, basado en un enfoque integral que equilibre necesidades humanas, agrícolas e industriales con la conservación ambiental. Las nuevas tecnologías juegan un papel clave, ya que permiten la descentralización del sistema y ofrecen alternativas más eficientes para la administración de los recursos hídricos (Cavallo Eduardo et al., 2020).

El sistema actual de agua y saneamiento ha evolucionado en distintas etapas, pasando de redes locales a sistemas centralizados de distribución y tratamiento. Sin embargo, su modelo lineal de extracción, uso y eliminación del agua ha generado desafíos como la dependencia de nuevas fuentes naturales, altos costos operativos y vulnerabilidad ante el cambio climático. Además, el tratamiento de aguas residuales es ineficiente, ya que mezcla distintos tipos de contaminantes en un solo flujo, dificultando su reutilización. La falta de integración entre los diferentes componentes del sistema impide aprovechar recursos valiosos, como el reciclaje de nutrientes o la reutilización de aguas grises para usos no potables (Cavallo Eduardo et al., 2020).

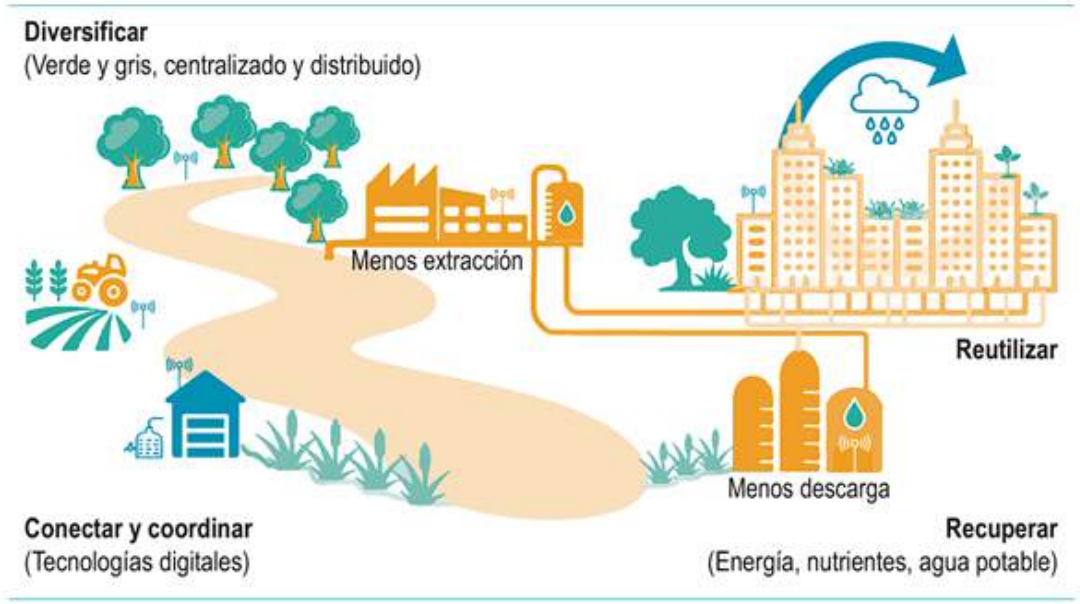
Estos sistemas centralizados también funcionan sin coordinación con otros sectores que dependen del agua, como la agricultura y la energía, lo que puede provocar el agotamiento del recurso y su contaminación. La ampliación de la infraestructura es costosa y poco flexible ante el crecimiento urbano, dejando a muchas comunidades sin acceso eficiente al agua potable. Para superar es-

tos problemas, es necesario un enfoque más circular e integral en la gestión del agua, que optimice su recuperación y reutilización, minimice el impacto ambiental y garantice la sostenibilidad del recurso ante los efectos del cambio climático (Cavallo Eduardo et al., 2020).

El nuevo enfoque de gestión del agua y saneamiento busca integrar todo el ciclo del agua en un sistema unificado, conectando diferentes sectores como agricultura, minería, energía y ecosistemas. Para ello, los sistemas distribuidos, que son instalaciones de menor escala ubicadas cerca del punto de uso, deben complementarse o incluso reemplazar a los sistemas centralizados tradicionales. Estos pueden incluir sistemas de recolección de agua de lluvia, redes internas para reutilizar aguas grises en usos no potables y tratamientos naturales como humedales artificiales. Además, las tecnologías digitales desempeñan un papel clave en esta transformación, al permitir la modernización de los sistemas centralizados mediante sensores y análisis de datos, conectar infraestructuras mediante plataformas compartidas e integrar la gestión del agua en un enfoque más amplio con herramientas digitales de monitoreo y análisis. Estos "ecosistemas" digitales se denominan Tecnologías Inteligentes de Infraestructura de Agua (SWIT, por sus siglas en inglés, Smart Water Infrastructure Technologies). En la Figura 10 se visualiza servicios de agua y saneamiento del futuro (Cavallo Eduardo et al., 2020).

Figura 10

Autoridad única del agua. Ecuador



Nota. Obtenido de Cavallo Eduardo et al. (2020)

El grupo de investigación en Contaminación Ambiental (GICA), a través, del Ing. David Carrera, Ph.D., ha realizado investigaciones en donde se ha demostrado, que el uso de nuevas tecnologías, como el Internet de las cosas (IoT), tienen la capacidad de monitorear variables climáticas en tiempo real, detectar fugas en redes de abastecimiento de agua potable, determinar patrones de consumo, y lo más importante, formular nuevos parámetros de diseños hidrosanitarios localizados en función del histórico de consumo. A continuación, se describen las publicaciones realizadas por GICA:

1. Fog Harvesting and IoT based Environment Monitoring System at the Ilaló volcano in Ecuador (Carrera-Villacrés, Carrera Villacrés, et al., 2020a).
2. Drinking Water and Sewerage at the Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE and Implementation of an Internet of Things Flowmeter (D. V. Carrera-Villacrés et al., 2022).
3. Fog Collectors Systems with IoT Sensors in the Andes and Coastal Regions of Ecuador Southamerica and Data Processing (D. V. Carrera-Villacrés, Carrera-Villacrés, Carrera-Villacrés, et al., 2023).
4. IoT Flowmeter to Obtain the Real Provision of Drinking Water of the Administrative Building at Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE (D. V. Carrera-Villacrés, Cabrera-Torres, et al., 2023).
5. The Implementation of IoT Sensors in Fog Collector Towers and Flowmeters for the Control of Water Collection and Distribution (D. V. Carrera-Villacrés et al., 2024).
6. Implementation of an Automated System Using IoT Flowmeters at a Pilot Level to Demonstrate Its Applicability in a Remote Population of the Border from Ecuador, South America (D. Carrera-Villacrés & Loaiza, 2024).
7. Water Losses in the Administrative Building at Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Through Data Analysis of a Flowmeter (IoT) and Wastewater Discharge (D. Carrera-Villacrés, Araujo-Falcon, et al., 2024).



CAPÍTULO II

Normativas para el diseño, construcción y conceptos básicos de las obras hidrosanitarias

2. Normativas para el diseño, construcción y conceptos básicos de las obras hidrosanitariass

2.1. Comparación de la normativa SAPYSB 1973 y SENAGUA 2014

En Ecuador, la Superintendencia de Agua Potable y Saneamiento Básico (SAPYSB) y la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) son entidades que regulan la gestión del agua. En la Tabla 2 se presenta la cronología de la normativa en el Ecuador.

Tabla 2

Cronología del agua potable y saneamiento en el Ecuador

Comparación de normativas que regulan el agua potable		
Normativa	SAPYSB	SENAGUA
Año	1973	2014
Significado de sus siglas	El Servicio Ecuatoriano de Planificación Integral del Aprovechamiento de los Recursos Hídricos	La Secretaría Nacional del Agua
Autoridad competente	Desempeñó la función de ente rector en la gestión del agua del país	Encabeza la gobernanza en lo que respecta al manejo del agua en Ecuador
Ley usada	Ley No. 609 del 17 de octubre de 1973 Reglamento General de la Ley Orgánica de Agua Potable y Saneamiento Básico	Ley No. 003 del 6 de febrero de 2014 Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua
Tipo de enfoque	El uso del agua y la prestación de servicios se enfocan principalmente en el ámbito local	Sostenibilidad y gestión ambiental integral con alcance nacional
Control	Más débil	Más fuerte
¿Qué abarca la normativa?	Calidad de agua potable, distribución, tarifas y protección de fuentes hídricas	Gestión de cuencas hidrográficas, concesión de permisos, control protección y conservación del agua
Aplicación	Se aplica principalmente a las empresas que prestan el servicio de agua potable y saneamiento básico	Se aplica a todos, desde empresas y personas hasta entidades públicas

Nota. Elaborado a partir de la comparación de las normas SAPYSB, (1973) y la SENAGUA, (2014).

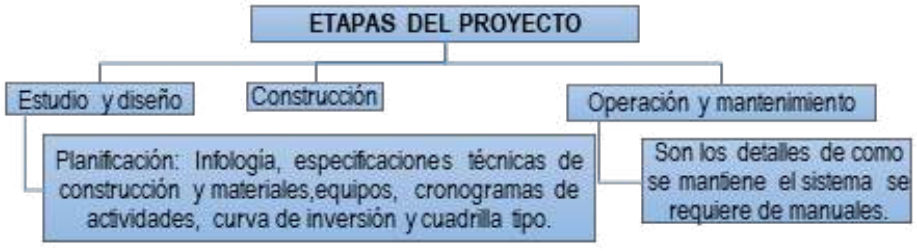
Cuando se estructuran proyectos de agua potable y alcantarillado se tiene que partir de la problemática a resolver y que se tiene redactado en los estudios. En los estudios se desarrollan la planificación una vez que se haya concluido que la alternativa seleccionada cumpla las tres viabilidades, la técnica, la económica y la ambiental. Además, se debe incluir en la fase del estudio, los equipos, insumos o materiales, mano de obra para completar el proyecto dentro de su planificación" (Inter ingeniería, 2025).

Un proyecto de Agua Potable y Alcantarillado debe estar bien diseñado y ser orientado al mejoramiento de las condiciones de vida de la población que abarque áreas urbanas y rurales a través de ejecución de proyectos que brinden agua segura, sistema de alcantarillado sanitario, manejo adecuado de excretas, recolección eficiente de residuos y eliminación de aguas residuales (SENAGUA, 2025).

Los estudios previos son esenciales para comprender las necesidades de la comunidad y garantizar que el proyecto sea viable. Sin un estudio adecuado, el proyecto podría estar mal diseñado, lo que podría conducir a problemas como la escasez de agua, la contaminación o el incumplimiento de los objetivos. Además, un proyecto que no cumpla con las tres etapas del proyecto puede producir su caída (CPE INEN 05, 1992). Un proyecto se compone de tres etapas Figura 11.

Figura 11

Etapas de un proyecto



Mientras que un sistema corresponde a la prestación del servicio, será desde la inauguración hasta su vida útil.

De acuerdo con la normativa (CPE INEN 05, 1992) en la población rural se tienen las siguientes etapas de los proyectos Tabla 3.

Tabla 3

Etapas de un proyecto de agua potable y alcantarillado en poblaciones rurales

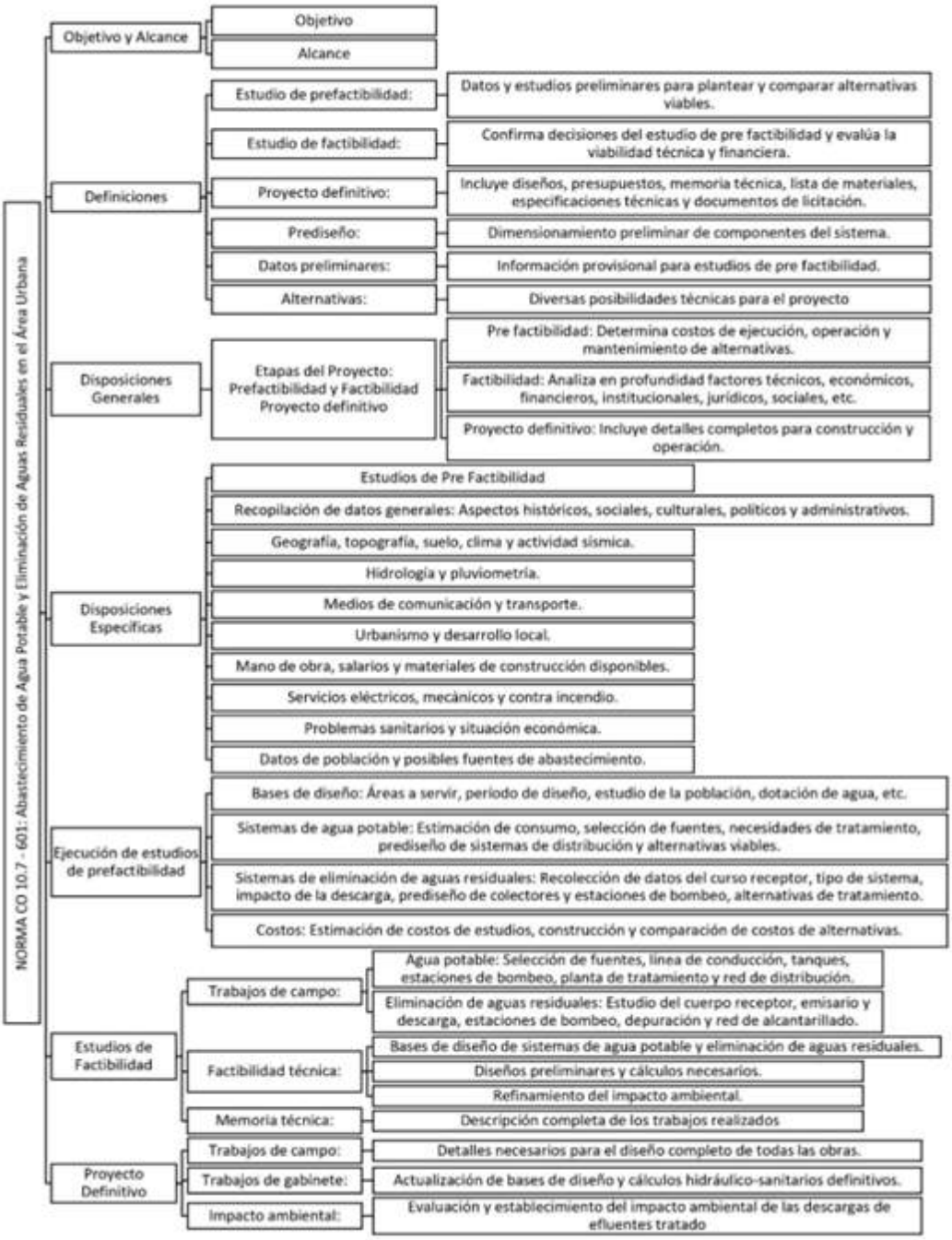
Etapas de un proyecto de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquido en el área rural			
Objeto	Definir las etapas para la elaboración de estudios y diseños de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos.		
Alcance	Se específica para cada una de las etapas las actividades que deben realizarse y la información que debe obtenerse y procesarse.		
Definiciones	*Estudio preliminar*	Actividades que permiten obtener la información básica para el planteamiento de alternativas viables.	
	Proyecto definitivo	Estudios y diseños que definen todos los componentes del sistema. Incluye: memoria técnica, presupuesto, especificaciones técnicas de construcción, programación para la construcción de las obras, y las principales especificaciones para la operación y mantenimiento del sistema.	
Disposiciones generales	Hay dos etapas: Estudio Preliminar y Proyecto Definitivo.		
	El alcance de los estudios y actividades se definirán con detalle en los respectivos términos de referencia para su ejecución, puesto que este alcance variará de acuerdo con las características y requerimientos particulares de cada caso.		
Disposiciones específicas	*Alcance básico del estudio preliminar*	*Recopilación de información*	Información necesaria para caracterizar la localidad y el área del proyecto, los formularios que para el efecto proporcionará el IEOS.
		Actividades y estudios complementarios	Informar a la comunidad, el objetivo y el alcance del proyecto y definir en conjunto las características técnicas básicas relacionadas con el servicio.
			Recuento poblacional y encuesta socioeconómica del IEOS.
			Disponibilidad y precios de los principales materiales de construcción y mano de obra.

		Estudio básico de los recursos hídricos que podrían servir como fuente de abastecimiento de agua o como receptor de las aguas.
	Planteamiento y análisis de alternativas	A base de la información obtenida se plantearán alternativas factibles y los prediseños. Mediante análisis técnico, ambiental y económico se identificará la más apropiada.
Alcance general del proyecto definitivo	*Actividades y estudios de campo*	Se realizarán con el alcance requerido, los levantamientos topográficos, estudios de mecánica de suelos, geológicos, y otros que se necesiten.
	Actividades y estudios de gabinete	Se efectuará los diseños hidráulicos, sanitarios, estructurales, electromecánicos y otros para definir de manera clara y técnica todo el proyecto. Memoria técnica, planos y documentos para la construcción del sistema diseñado.

En la Figura 12 de la página siguiente se tiene un resumen de las etapas de los proyectos de agua potable y alcantarillado para poblaciones urbanas (CPE INEN 05, 1992).

Figura 12

Etapas de un proyecto en poblaciones urbanas



2.2. Documentos necesarios que se debe subir al USHUAY para participar en el Servicio de Compras Públicas en el Ecuador

La plataforma USHUAY es una herramienta que facilita la eficiencia del Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP). Automatiza la elabora-

ción del Plan Anual de Contrataciones de un proyecto, dentro de los procedimientos serán entregables a la plataforma los documentos que se detallan en la Tabla 4 (Portal de Compras Públicas, 2025).

Tabla 4

Etapas de un proyecto de agua potable y alcantarillado en poblaciones rurales

No.	Documento	Observaciones
1	Balance general	
2	Estado de resultados	
3	Cálculo de índices SERCOP	
4	Declaración de impuestos a la renta	
5	Metodología seguridad y salud ocupacional	
6	Protocolo de bioseguridad	
7	Formulario de la oferta	Descargar y llenar, se encuentra en los archivos de compras públicas.
8	Plan de trabajo	
9	Metodología propuesta y conocimiento probado de las condiciones generales, locales y particulares del proyecto materia de la consultoría	Debe incluir: - Listado y desarrollo de objetivos, actividades, acciones, productos y metas. - Descripción del enfoque, alcance y metodología del trabajo que releve el conocimiento de las condiciones generales, locales y particulares del proyecto materia de la prestación del servicio de consultoría de elaboración de estudios
10	Cronograma de ejecución de la consultoría	
11	Cronograma de participación del personal técnico	
12	Organigrama estructural y funcional del servicio propuesto	
13	Cronograma valorado de ejecución	
14	Ruta Crítica	
15	Cronograma de uso de equipos de trabajo	
16	Carta compromiso de alquiler de equipo de trabajo	Detalle del equipo solicitado
17	Experiencia General	- En caso de entidad públicas el Acta entrega recepción definitiva y Contrato sobre Elaboración de estudios y diseños de obras hidráulicas en general con un monto mínimo de $ 68812.74

18	Experiencia Específica	- En el caso del sector privado el contrato y factura con la respectiva retención - En caso de entidad públicas el Acta entrega recepción definitiva y Contrato sobre Elaboración de estudios y diseños de planes maestros de agua potable, alcantarillado pluvial y sanitario y/o fiscalización de obras de agua potable, alcantarillado pluvial y sanitario con un monto mínimo de $ 172031.85 - En el caso del sector privado el contrato y factura con la respectiva retención

Nota. Elaborado a partir del Portal de Compras Públicas (2025).

Al realizar un proyecto hay que contar con personal calificado, por eso, se deben cumplir con ciertas características profesionales, que detallan en su hoja de vida, especificadas en la Tabla 5.

Tabla 5

Personal técnico y experiencia para poder participar en proyectos de agua potable y saneamiento

Título de Tercer Nivel	Función por realizar	Observaciones	Tiempo de experiencia
Ingeniero Civil	Director de proyecto	El ingeniero civil debe contar con maestría en el área hidráulica.	10 años
Ingeniero Civil	Ingeniero Civil/ Sanitario	El ingeniero civil debe tener experiencia en diseños de sistemas de agua potable y alcantarillado.	
Ingeniero Civil Hidráulico	Ingeniero Civil/ Hidráulico		
Ingeniero Electromecánico	Ingeniero Electromecánico	El ingeniero debe contar con experiencia en fiscalización o diseños de obras hidráulicas, sistemas de agua potable y alcantarillado, incluyendo estaciones de bombeo.	

Ingeniero Civil	Ingeniero Hidrólogo	El ingeniero debe tener experiencia en proyectos de planificación, diseño, construcción para el control, uso y gestión de recursos hídricos, para evaluar la cantidad, calidad y disponibilidad del recurso.	5 años
Ingeniero Civil con especialidad en mecánica de suelos	Ingeniero Geólogo	Ingeniero con experiencia en mecánica de suelos, geología, geotecnia, que hayan participado en proyectos de fiscalización o diseños de obras hidráulicas, sistemas de agua potable y alcantarillado.	
Ingeniero Civil	Ingeniero Civil Estructural	Ingeniero civil con experiencia en proyectos de fiscalización o diseños de obras hidráulicas, sistemas de agua potable y alcantarillado.	
Ingeniero Civil	Ingeniero Geógrafo	El ingeniero debe haber participado en proyectos de posicionamiento de puntos GPS satelital de primer orden con enlaces hitos IGM.	
Economista o Ingeniero Comercial	Economista o Ingeniero Comercial	El profesional debe tener experiencia en proyectos de diseño y evaluación económica y financiera de proyectos hidráulicos, sistemas de agua potable y alcantarillado.	
Sociólogo o Promotor Social	Sociólogo	El profesional debe contar experiencia en proyectos de fiscalización o diseños de obras hidráulicas, sistemas de agua potable y alcantarillado.	3 años
Ingeniero Ambiental	Ingeniero Ambiental		
Ingeniero Civil de Costos	Ingeniero Civil de Costos		5 años

Ingeniero Civil	Ingeniero Civil / Auxiliar		-
Dibujantes	-	Hoja de vida: cédula, título de graduación universitario, registro en la SENECYT, certificación de trabajo de participación	-
Secretaria	-		-
Chofer /Mensajero	-		-
Topógrafos	-		-
Cadeneros	-		-
Contador/Administrador	-	-	-

Nota. Elaborado a partir del Portal de Compras Públicas (2025).

Finalmente, los productos esperados del proceso de Plan de Contratación llevado a cabo a través de la plataforma USHUAY se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6

Productos que se tienen que entregar en proyectos de agua potable y saneamiento

FASE 1		FASE 2	
Cantidad	**Descripción**	**Cantidad**	**Descripción**
3	Informes de Evaluación y Diagnóstico de la situación actual de cada sistema.	1	Informe básico de cada área del proyecto.
1	Estudio geofonamiento para control de pérdidas y fugas.	1	Informe de Evaluación y diagnóstico de los sistemas.
3	Informe de Análisis de alternativas y selección de la alternativa óptima.	1	Informe de Estudios de ingeniería básica, bases y parámetros de diseño.
1	Documento de categorización y certificado de intersección del proyecto.	1	Libreta topográfica.
1	Documento de la elaboración y aprobación de términos de referencia de EIA	1	Documento de Encuestas Socioeconómicas.
3	Informes de revisión y aprobación de alternativas por parte de la fiscalización	1	Estudio de alternativas de cada sistema y selección de la alternativa óptima.

1	Informe de socialización del Acta de las alternativas.	1	Diseño definitivo de cada sistema.
		1	Informe de Reporte y Caracterización de los resultados de análisis de aguas.
		1	Memoria de Cálculo y Diseño de las unidades del sistema.
		1	Informe de Cálculos hidráulicos sanitarios.
		1	Informe de Estudios de geotecnia y mecánica de suelos. (Y de hallazgos arqueológicos, si fuera necesario)
		1	Informe de Estudio tarifario.
		1	Informe de propuesta para el mejoramiento de la administración de servicios.
		1	Manual de operación y mantenimiento, plan de control de efluentes, de seguridad y control industrial.
		1	Informe de Evaluación Económica y Financiera.
		1	Informe de Especificaciones técnicas de materiales y construcción.
		1	Presupuesto general, análisis de precios unitarios, estudio de mercado, fórmula polinómica, materiales, cantidades de obra, cuadrilla tipo cronograma, valorado de trabajos por etapas método PERT-CPM.
		1	Informe de Desagregación Tecnológica
		3	Juegos de planos definitivos
		1	Informe de Indicadores de interferencias con otros servicios.
		1	Informe de Ubicación e Identificación del proyecto en terrenos particulares.

1	Informe de los diseños electromecánicos y planos aprobado por CNEL.
1	Informe con formatos de la información completa de los términos de referencia.
1	Informe de Regularización ambiental.
1	Elaboración de Informe de documentos precontractuales.
1	Resumen Ejecutivo
1	Informe de Estudio del proyecto en formato SENPLADES.
1	Informe de Viabilidad técnica emitida por el ente rector.

Nota. Elaboración propia a partir de (Portal de Compras Públicas, 2025).

2.3. Normativa de Calidad del agua AM097-A

"Artículo 1.- Expídase el Anexo 1, referente a la Norma de Calidad Ambiental y descarga de Efluentes del Recurso Agua" (Acuerdo Ministerial 097-A publicado en el Registro Oficial 387, 2015).

Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua

La parte introductoria de la norma técnica habla de su vigencia en territorio nacional, así como de su aplicación de carácter obligatorio. Lo que establece la presente normativa, como se aprecia en la Tabla 7 son todos los aspectos de control para mitigar la contaminación del agua, donde se encuentran definiciones básicas, calidad de agua, límites permisibles, permisos de descarga, sistemas de alcantarillado, procedimientos para determinar parámetros físicos-químicos.

Tabla 7

Normativa de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua

Numeral	Sección	Tabla
1	Objeto	-
2 a 2.79	Definiciones	-
3 a 3.4	Principios Básicos	-
4 a 4.2	Clasificación	-
5 a 5.2.7.1	Desarrollo	Tabla 1. Criterios de Calidad de Fuentes de Agua para Consumo Humano y Doméstico. Tabla 2. Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en Aguas Dulces, Marinas y de Estuarios. Tabla 2a. Criterios de Calidad Admisible del Amoniaco Total para la Protección de la Vida Acuática (mg/l NH2). Tabla 3. Criterios de Calidad de aguas para Riego Agrícola. Tabla 4. Parámetros de los niveles de la calidad de agua para riego. Tabla 5. Criterios de Calidad de Aguas para Uso Pecuario.

Tabla 6. Criterio de Calidad de Agua para Fines Recreativos Mediante Contacto Primario.

Tabla 7. Criterios de Calidad de Aguas para Fines Recreativos Mediante Contacto Secundario.

Tabla 8. Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público.

Tabla 9. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.

Tabla 10. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Marina.

6	Método de Prueba	-

2.4. Normativa INEN 1108

La norma INEN 1108 proporciona información que se debe cumplir para el abastecimiento, consumo y distribución de agua potable. Para que el agua potable sea considerada de uso doméstico debe presentar varios requisitos físicos y químicos dichos requisitos se puede visualizar en el Anexo 1 (tabla de Requisitos físicos y químicos del agua para el consumo humano) (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108: Agua potable. Requisitos, 2014).

El agua potable debe seguir varios parámetros microbiológicos, incluidos en el Anexo 2 de Requisitos microbiológicos del agua para consumo humano. El agua potable recomendable beber es de pH 6.5-8, ya que está en un rango óptimo de consumo.

Anexo 1.

Requisitos físicos y químicos del agua para el consumo humano.

Parámetro	Unidad		Método de
Arsénico	mg/L	0.01	Standard Methods 3114
Cadmio	mg/L	0.003	Standard Methods 3113
Cloro libre residual	mg/L	0.3 a 1.5	Standard Methods 4500
Cobre	mg/L	2.0	Standard Methods 3111
Color aparente	Pt-Co	15	Standard Methods 2120
Cromo (cromo total)	mg/L	0.05	Standard Methods 3113
Fluoruro	mg/L	1.5	Standard Methods 4500-
Mercurio	mg/L	0.006	Standard Methods 3112
Nitratos (como	mg/L	50	Standard Methods 4500-
Nitritos (como	mg/L	3	Standard Methods 4500-
Plomo	mg/L	0.01	Standard Methods 3113
	NTU	5	Standard Methods 2130

a. Se conocer también como Turbidez
b. Los resultados obtenidos deben expresarse con el mismo número de cifras significativas de los límites permitidos, aplicando las reglas para redondear números indicadas en (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 52:2013. Reglas para redondear números, 2013).
c. Si se usan métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben normalizarse. Si no es un método normalizado, este debe validarse.

Nota. Obtenido de Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108: Agua potable. Requisitos, (2014).

Anexo 2.

Requisitos microbiológicos del agua para el consumo humano

Parámetro	**Unidad**	**Límite permitido**	**Método de**
Coliformes fecales	Número/100 ml	Ausencia	Standard Methods Standard Methods
Cryptosporidium	Número de ooquistes/L	Ausencia	EPA 1623

Giardia	Número de quistes/L	Ausencia	EPA 1623

A. Si se usan métodos de ensayo alternativos a los señalados, deben normalizarse. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado
B. La ausencia corresponde a "< 1,1 NMP/100 mL".
C. La ausencia corresponde a "< 1 UFC/100 mL".

Nota. Obtenido de Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108: Agua potable. Requisitos, (2014).

2.5. Elementos y Comportamiento del sistema hidráulico en proyectos de agua potable y alcantarillado

Sistema de agua potable

Sistema de abastecimiento de agua potable consta de una serie de obras necesarias para recolectar, conducir, purificar, almacenar y distribuir agua de fuentes naturales, hasta los hogares de las personas que se beneficiarán del sistema. Incluye también cuencas y acuíferos. En la Figura 13 se presenta un sistema por gravedad (Má Villatoro, 2009).

Figura 13

Elementos de un sistema de agua potable



Nota. Obtenido de AM Group, (2025)

Consta de los siguientes componentes:

1. Cuenca hidrográfica superficial.
2. Captación y conducción
3. Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP)
4. Tanque y red de distribución
5. Envío de información a la central de monitoreo

Cuenca hidrográfica superficial

FONAG (Fondo para la Protección del Agua) representa una alianza de individuos, instituciones y comunidades que se comprometieron a conservar las fuentes de agua en el Distrito Metropolitano de Quito. Establecida hace 25 años como un fideicomiso mercantil, su misión es contribuir a la protección y restauración de las cuencas hídricas que suministran agua al DMQ. FONAG aborda este propósito mediante un enfoque técnico, considerando la equidad social y la sostenibilidad como aspectos fundamentales de su labor (Fondo para la Protección del Agua (FONAG), 2025).

Cuenca hidrográfica subterránea

Alrededor del 30% del agua potable que se sirve en América Latina es extraída de acuíferos subterráneos, aunque en mayor medida se la extrae para la industria, donde representa un 50% del total consumido. Los acuíferos subterráneos se alimentan del agua que se infiltra desde las zonas de recarga a diferentes velocidades hasta sus puntos de descarga tales como manantiales o humedales (Solís, 2023).

Atrapanieblas

En la Figura 14 se presenta el Atrapanieblas de forma piramidal, que es un sistema de recolección de niebla basado en torres de condensación de agua y tecnología de Internet de las Cosas (IoT) con monitoreo en tiempo real. Este sistema permite el monitoreo de parámetros ambientales al mismo tiempo que proporciona fuentes alternativas de agua a partir de la niebla ambiental (D. V. Carrera-Villacrés, Carrera-Villacrés, Carrera-Villacrés, et al., 2023).

Figura 14

Atrapanieblas de forma piramidal



En la Figura 15 se presenta el Atrapanieblas de forma cilíndrica instalado en el cantón Guamote comunidad de los Galtes (D. V. Carrera-Villacrés et al., 2017).

Figura 15

Atrapanieblas de forma cilíndrica instalado en el cantón Guamote comunidad los Galtes



De acuerdo con los trabajos realizados en el Ecuador, para determinar cuál es la mejor forma de los atrapanieblas, en función de la cantidad de agua que puede captar, en la Figura 16 se presentan las diferentes formas construidas (D. V. Carrera-Villacrés, Carrera-Villacrés, Carrera-Villacrés, et al., 2023).

Figura 16

a) Galte Laime, b) Farm Urku Huayku, c) Ilaló volcano, d) Conocoto Quinta Girasoles, e) Conocoto Parque Metropolitano del Sur, collapsible tower, f) Bunche, collapsible tower

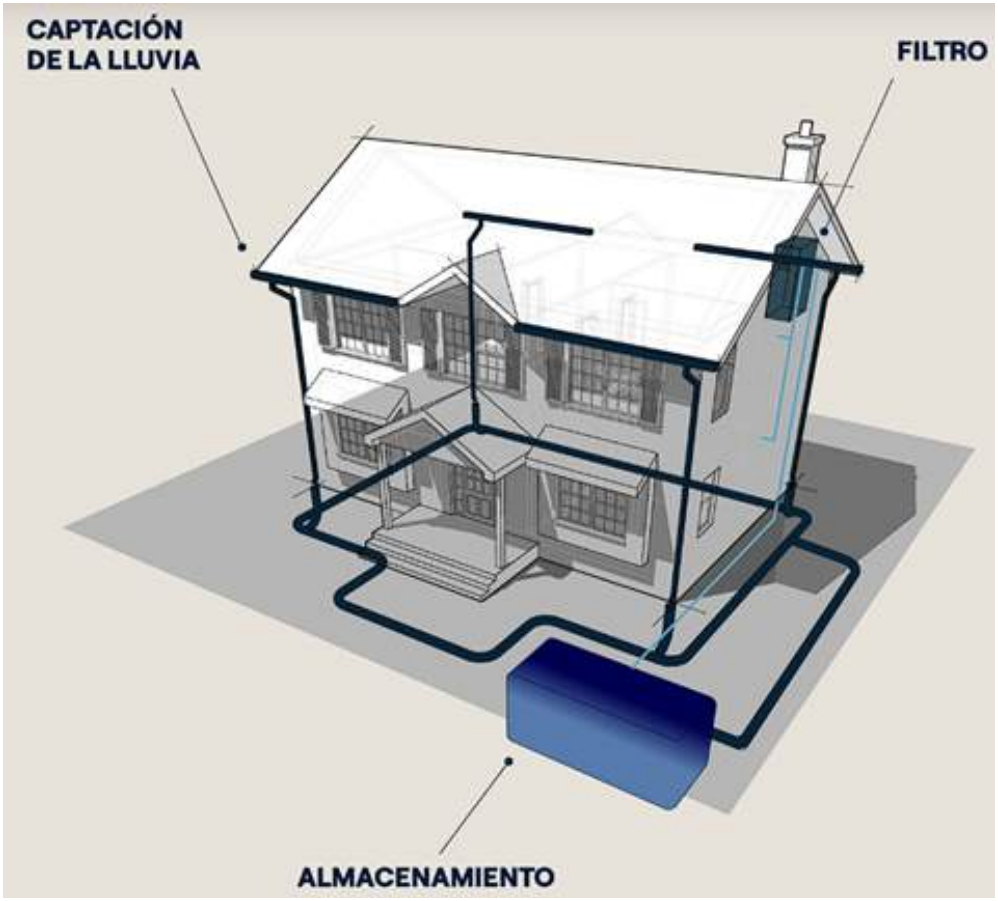


Sistemas de Captación de Agua Lluvia (SCALL)

Se denomina captación a la superficie encargada de recolectar el agua lluvia. La captación se lo realiza en los techos, con pendientes adecuadas facilitando el depósito del agua lluvia hacia la cisterna o tanque de almacenamiento, de la cual recolecta, conduce y filtra a través de varios componentes (Pancca & Palomino, 2022). En la Figura 17 se presenta el esquema de captación de pluvial (Econova, 2025).

Figura 17

Sistema de captación de agua lluvia



Nota. Obtenido de (Econova, 2025)

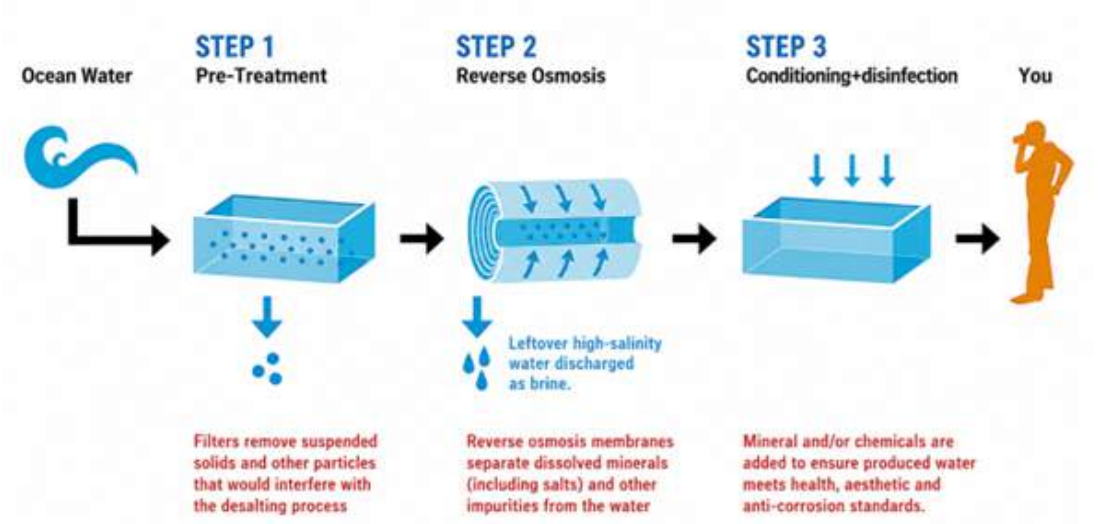
Desalinización del agua de mar

La desalación del agua es un proceso de tratamiento del agua que convierte el agua del mar o salobre en agua potable para localidades vulnerables limitadas de agua dulce. Existen variedad de métodos para disminuir la salinidad en

el agua, siendo la ósmosis inversa el sistema de desalinización más avanzado que separa las moléculas de agua del océano, forzada por miles de membranas semipermeables bajo una presión alta, permitiendo el paso de moléculas de agua apartando la sal e impurezas (San Diego County Water Authority, 2025). Todo el proceso requiere lo que se observa en la Figura 18.

Figura 18

Proceso de desalinización del agua



Nota. Obtenido de San Diego County Water Authority, (2025)

Aunque la desalinización constituye una alternativa técnicamente viable para incrementar la disponibilidad de agua dulce en regiones con escasez hídrica, su implementación continúa condicionada por los elevados requerimientos energéticos y económicos asociados al proceso. Particularmente, la ósmosis inversa requiere aplicar altas presiones para vencer la presión osmótica del agua salina, lo que incrementa el consumo de energía y, consecuentemente, los costos de producción. Estudios recientes muestran que, aun empleando sistemas optimizados de ósmosis inversa, el costo nivelado del agua desalinizada puede situarse aproximadamente entre 1,44 y 1,64 USD/m^3, dependiendo de la salinidad del agua de alimentación y de las condiciones de recuperación del sistema. Estos valores evidencian que la desalinización, pese a los avances tecnológicos alcanzados, continúa representando una alternativa económicamente exigente frente al aprovechamiento y manejo eficiente de fuentes convencionales de agua dulce (Al-Oweiti et al., 2026).

Bombardeo de las nubes para la generación de precipitación

El bombardeo de sol en las nubes es un proceso por el cual la luz solar puede ayudar a provocar la precipitación. El agua se evapora al ser calentada con la luz solar, y asciende a la atmósfera, ahí se enfría y se transforma en gotas de agua como indica la Figura 19. Para la estimulación de la lluvia, se emplean polígonos que pueden abarcar hasta dos millones de hectáreas. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) utiliza registros históricos y modelos estadísticos para calcular la cantidad de lluvia esperada en esas áreas. Después de los vuelos de aspersión, se utilizan pluviómetros en el terreno para medir la precipitación adicional al promedio regular previsto por el SMN para esa temporada (BBC News Mundo, 2025).

Figura 19

Proceso de bombardeo de nubes para provocar la precipitación



Nota. Obtenido de 20 minutos, (2025)

Smart cities como propuesta de optimización de procesos hidráulicos

Las ciudades inteligentes se valen de la tecnología más vanguardista para mejorar la vida de sus habitantes. En este ámbito, las soluciones Smart Water se convierten en aliadas indispensables para optimizar la gestión integral del agua, implementando herramientas de nuevas tecnologías para sus sistemas de saneamiento, así como para proveer de agua potable a sus habitantes. En una Smart Water la eficiencia es el enfoque principal para contribuir a la sostenibilidad durante todo el proceso de aprovechamiento del agua, desde que se capta hasta su tratamiento y vuelta a utilizar (Soares Ascenção et al., 2023).

Funcionamiento de las Smart Cities

A través de la recopilación y análisis de datos en tiempo real, sensores, redes de comunicación y plataformas inteligentes trabajan en conjunto para que los gestores del agua puedan tomar decisiones de manera inteligente (Antzoulatos et al., 2020; Costa & Soares, 2020).

a. Monitorizar y controlar en tiempo real la infraestructura hidráulica: redes de tuberías, plantas de tratamiento, depósitos.
b. Encontrar posibles fugas o daños de manera anticipada, para así evitar desperdiciar el agua o sufrir daños en la infraestructura.
c. Darle un mejor uso al agua disponible en la ciudad mediante la monitorización de presiones y el flujo de redes de distribución.
d. Prevenir dificultades en el acceso al agua mediante técnicas de simulación anticipada de estos eventos, considerando muchas variables que pueden cambiar en el tiempo.
e. Reutilizar el agua mediante procesos eficientes de tratamiento de las aguas residuales que se generen.

Beneficios que aportan

a. Eficiencia: Reducción del consumo de agua y de los costes operativos.
b. Sostenibilidad: Protección de los recursos hídricos y del medio ambiente.
c. Resiliencia: Mayor capacidad para adaptarse a eventos climáticos extremos y a la escasez de agua.
d. Calidad de vida: Mejora de la calidad del agua potable y del saneamiento.
e. Transparencia: Mayor acceso a la información para los ciudadanos y las autoridades.

Ejemplos de herramientas o técnicas utilizadas en las Smart Cities

a. Caudalímetros IoT que mediante el uso de sensores y software pueden mantener un control constante de los parámetros más importantes en las redes de distribución, como la presión, caudal.

b. Sistemas completos de control electrónico para optimizar al máximo los sistemas de agua potable con todos sus elementos que los componen como las redes de agua y las plantas de tratamiento PTAP.

c. Plataformas integradas para gestionar inteligentemente y analizar los datos de manera sincrónica para su posterior toma de decisiones.

d. Apps móviles que permiten a los ciudadanos conocer su consumo de agua y realizar gestiones relacionadas con el servicio.

2.6. Caudalímetros IoT

Dispositivos IoT

Es un medio de establecer una conexión entre la computadora y cualquier otra computadora a nivel mundial a través de servidores y algunos enrutadores. La principal forma de comunicación que utiliza es el internet como tecnología subyacente es el Internet de las cosas (IoT). Permitiendo incorporar algún tipo de inteligencia en los objetos que están o pueden estar conectados a la Internet a fin de intercambiar información y, por lo tanto, comunicarse, invocar ciertas acciones basadas en los insumos, tomar decisiones y prestar servicios útiles (Filho et al., 2021).

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se ha llevado a cabo algunos proyectos para la instalación de este tipo de caudalímetros IoT, el más reciente se encuentra en la biblioteca general y fue instalando en febrero de 2024 (D. V. Carrera-Villacrés et al., 2022). En la Figura 20 se muestra el modelo usado.

Figura 20

Caudalímetro de turbina con tecnología IoT.



Aplicación de dispositivos IoT

Se necesitan tres componentes para la utilización perfecta del internet de las cosas (IoT) (De Giusti, 2023).

a. El hardware está compuesto por sensores, actuadores, cámaras IP, CCTV y comunicación integrada.
b. Almacenamiento y herramientas informáticas de media demanda para el análisis de datos con la nube y el Big Data Analítica.
c. Presentación-fácil de comprender los instrumentos de visualización e interpretación que pueden diseñarse para las diferentes aplicaciones.

Nombres y funciones de los dispositivos IoT

Los IoT pueden llamarse: Web de las Cosas, Internet de los Objetos, Inteligencia Embebida, Dispositivos conectados y tecnología Omnipotente, Omnisciente y Omnipresente. Además de estos, también se llama conteo a los Sistemas Físicos Cibernéticos "Integraciones de computación y procesos físicos", en los cuales se unen el mundo real y virtual como la computación omnipresente siendo un entorno informático en el que prácticamente todos los objetos tienen capacidad de procesamiento con conexiones inalámbricas o por cable a una red mundial mencionando a la computación o tecnología de la calma, donde la tecnología se vuelve virtualmente invisible, donde la Interacción Máquina a Máquina significa que no hay intervención humana mientras que los dispositivos se comunican de extremo a extremo y donde la Interacción Humano-Computadora implica el estudio, la planificación y el diseño de la interacción entre las personas y las computadoras (Arena & Pau, 2020).

2.7. Sistema de alcantarillado

Drenaje Sanitario

Es un sistema de tuberías que transporta las aguas residuales desde los hogares, negocios e industrias hasta una planta de tratamiento. Incluyen orina, heces, residuos de alimentos y otros materiales que no son aptos para ser descargados directamente. No se puede descargar directamente debido a las altas concentraciones de componentes químicos que pueden circular en él, y necesitan tratamiento previo antes de desecharlas causando una contaminación generalizada de los ríos (Skolubovich et al., 2020).

Contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes en aguas potables son sustancias químicas que no regulan específicamente las normativas actuales, pero con riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Entre estos contaminantes se incluyen productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, hormonas, plaguicidas, productos químicos industriales y micro plásticos. La creciente preocupación por estos contaminantes se debe a sus efectos adversos y a la dificultad de eliminarlos mediante los tratamientos convencionales de agua (Leyva-Díaz et al., 2021).

La calidad de las aguas residuales se ve influenciada por los contaminantes vertidos en ellas derivados principalmente de las actividades humanas, domésticas e industriales. Estas aguas pueden provenir de las edificaciones existentes, centros educativos, hogares, industrias, etc. Los componentes contaminantes mayormente presentes son el nitrógeno y fósforo, compuestos orgánicos, bacterias coliformes fecales, materia orgánica, antibióticos, hormonas, entre muchos otros (Aber et al., 2024).

Existen más de 200,000 sustancias químicas y son utilizadas frecuentemente 87,000, distribuidos de la siguiente manera: 900 pesticidas con ingredientes activos, 2500 pesticidas con otros ingredientes, 75,500 productos químicos, y 8,000 suplementos nutricionales y cosméticos, todos son fuentes de disruptores endocrinos (Bali et al., 2023).

Los contaminantes emergentes pueden tener una variedad de efectos adversos. En la salud humana, pueden causar toxicidad aguda y crónica, alteraciones endocrinas, efectos cancerígenos y resistencia a antibióticos. En la vida silvestre, pueden provocar alteraciones en la reproducción y desarrollo de especies acuáticas y bioacumulación en la cadena alimentaria. Ecológicamente, pueden llevar a la pérdida de biodiversidad, alteraciones en los ecosistemas acuáticos y cambios en la calidad del agua (Singh et al., 2022).

Para la remoción de los contaminantes en las aguas residuales, existen diversos procesos de tratamiento. Estos procesos pueden ser mediante lodos activados, lagunas de estabilización o aireadas, filtros o tratamientos biológicas, o la combinación de varias de estas técnicas. En el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) de CONAGUA de México, publicado en el año 2019, existen 55 libros en donde se explica a detalle los diferentes tipos de tratamiento entre otras cosas más (CONAGUA, 2019h).

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

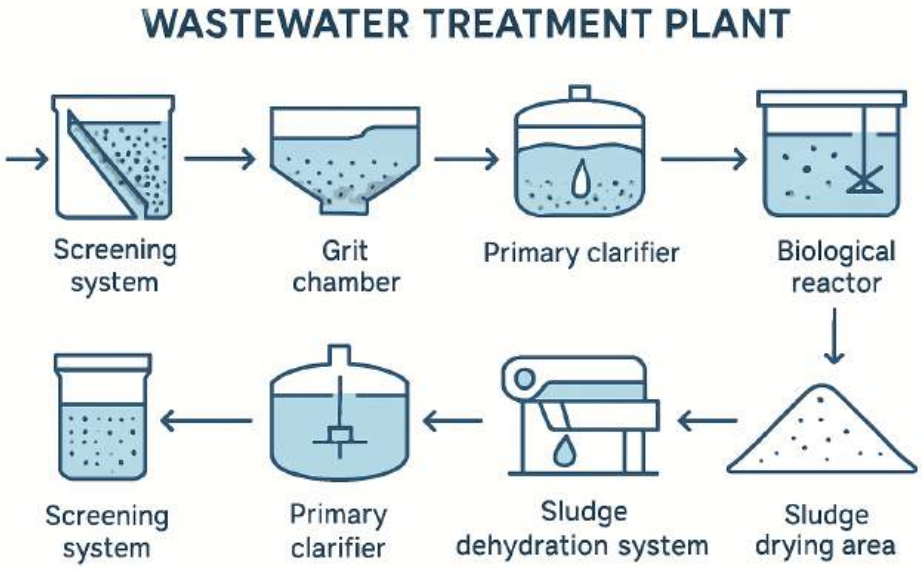
El aumento de la población y la urbanización pueden llevar a una sobrecarga del sistema de drenaje sanitario y pluvial, causando problemas como desbordamientos y contaminación. La infraestructura de drenaje sanitario obsoleta puede causar problemas de funcionamiento y eficiencia. El cambio climático puede aumentar la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, como lluvias intensas, inundaciones y sequías, que afectan la infraestructura de drenaje sanitario, en el caso particular del Ecuador, el fenómeno de El Niño. La presencia de contaminantes emergentes, como productos farmacéuticos y productos químicos industriales, en las aguas residuales plantea desafíos para el tratamiento y la eliminación (Nishmitha et al., 2025).

Todos los problemas antes mencionados hacen necesaria la construcción de una PTAR.

En la Figura 21 se ilustran los componentes que intervienen el proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes (Perplexity AI., 2025).

Figura 21

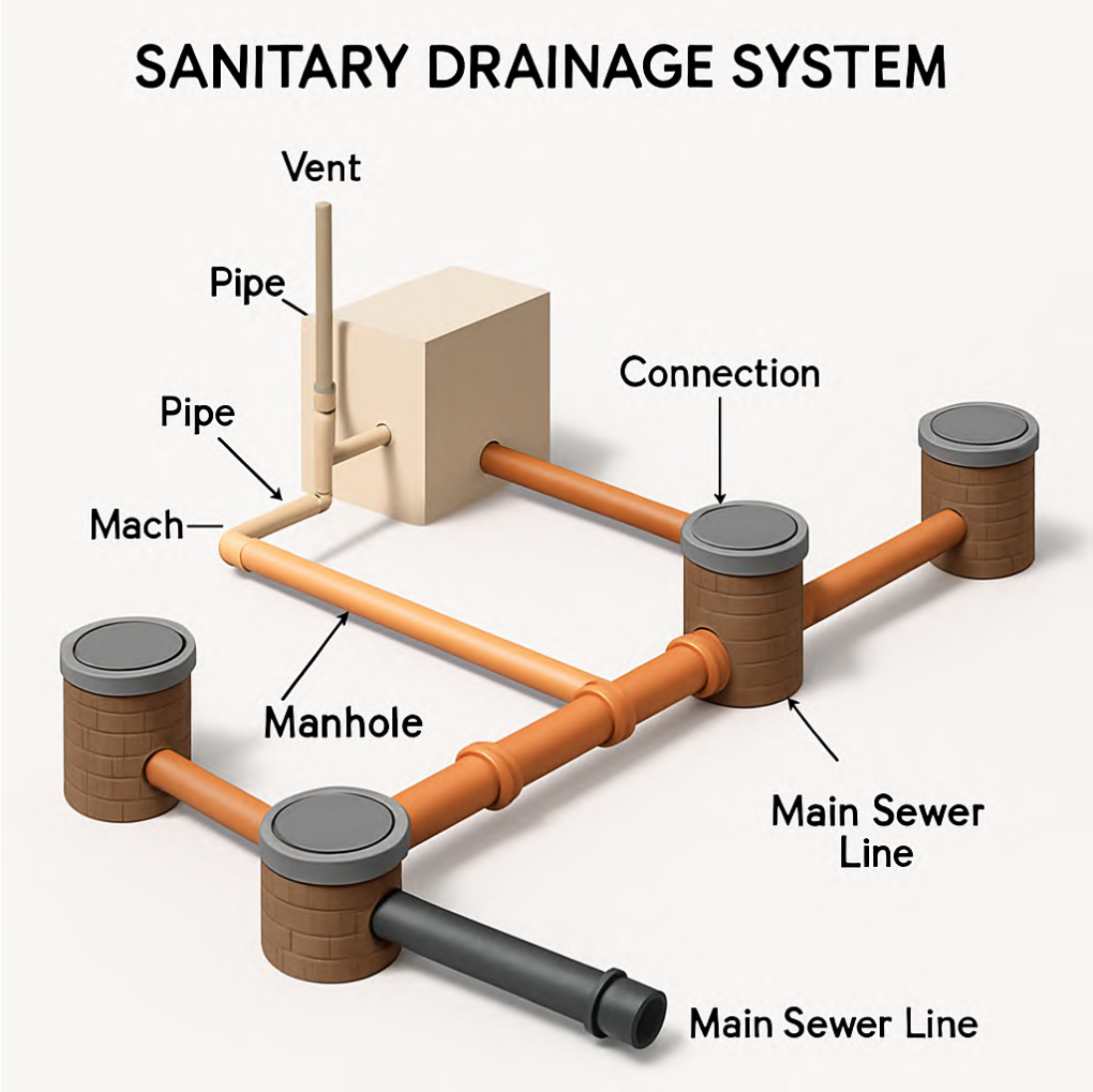
Esquema detallado de componentes de una planta de tratamiento de aguas residuales



En la Figura 22 se detalla los elementos principales de un drenaje sanitario (Perplexity AI, 2025a).

Figura 22

Imagen 3D detallando los elementos de un drenaje sanitario

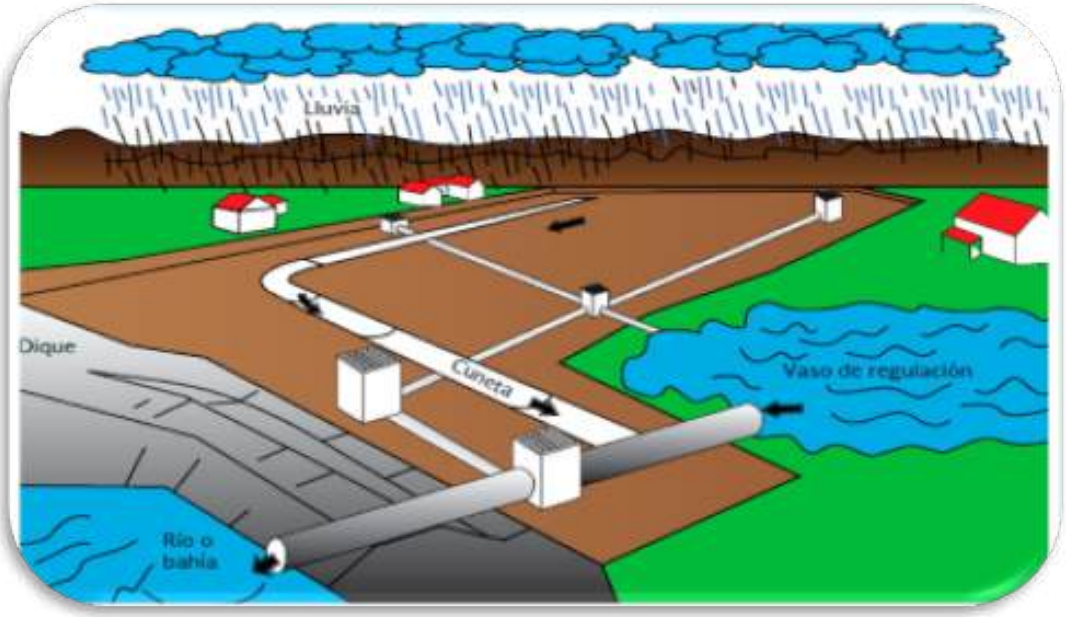


Drenaje pluvial

Los sistemas de drenaje pluvial son necesarios en las zonas urbanas desarrolladas debido a la interacción entre la actividad humana y el ciclo natural del agua. Esta interacción se da en dos formas, la extracción o captación del agua para las personas, así como, su ciclo natural a ríos y acuíferos. En estas formas de interacción está incluida el agua pluvial, que se la llama así a toda agua que cae sobre la corteza terrestre producto de las precipitaciones atmosféricas. Dependiendo de la utilización que se le quiera dar al agua, no hace falta tratar por lo general. En la Figura 23 se ilustra lo mencionado.

Figura 23

Elementos del drenaje pluvial



Nota. Obtenido de Alvarado-Galaviz Luis Javier, 2022)

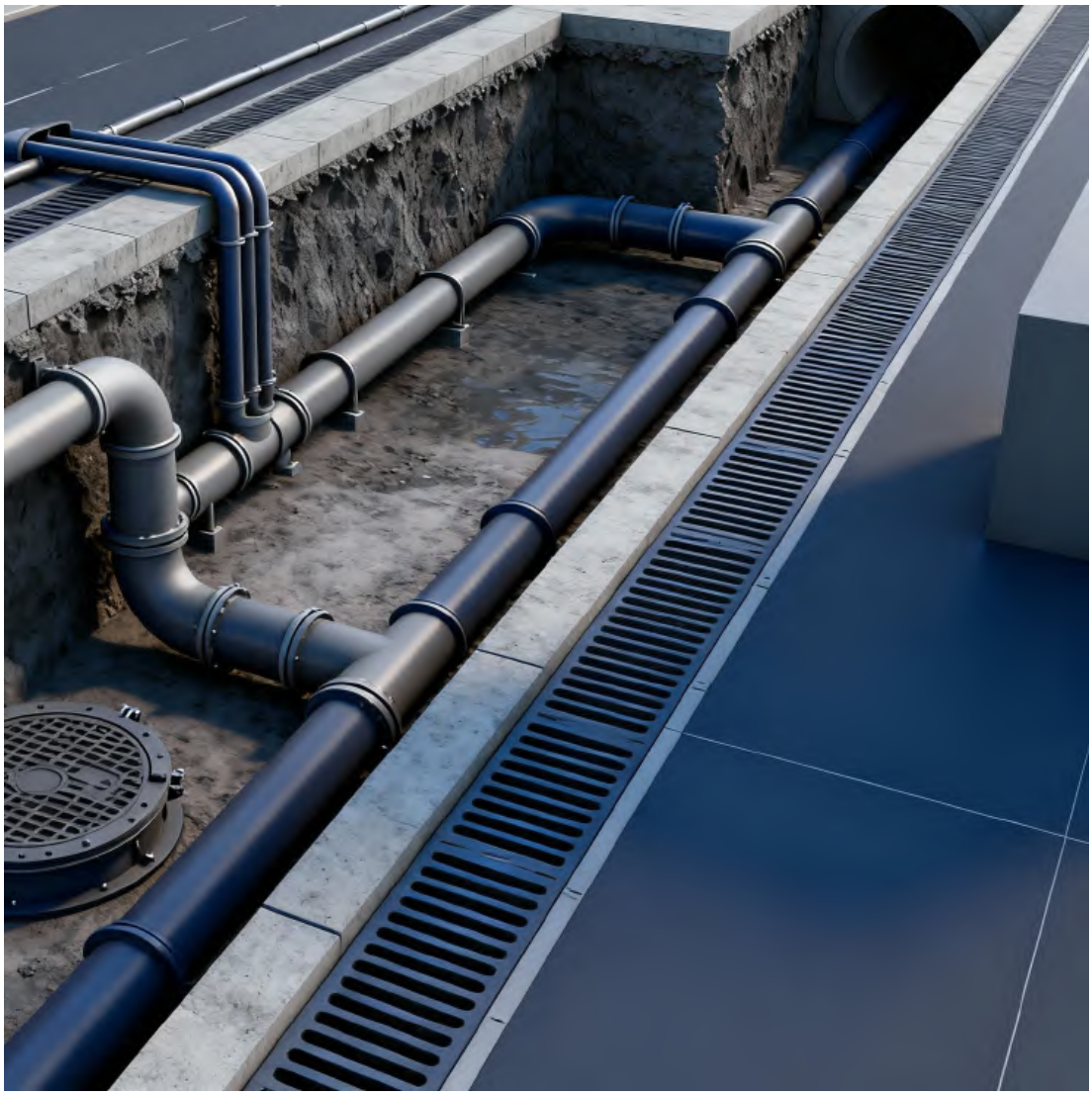
Drenaje Industrial

Las aguas producto de la actividad industrial se presentan de diferentes características, tanto de concentraciones orgánicas e inorgánicas, es decir, en función de las actividades, son muy cambiantes, ya sea en calidad o en cantidad, esto se produce debido a que se realiza vertidos por lotes, los inicios y paradas de las actividades industriales, los turnos diarios de trabajo entre otros aspectos que incluso cambian de manera más significativa durante los fines de semana o estaciones del año (Lawrence et al., 2024).

En la Figura 24 se presenta cómo funciona el drenaje urbano para aguas industriales.

Figura 24

Elementos de un drenaje industrial

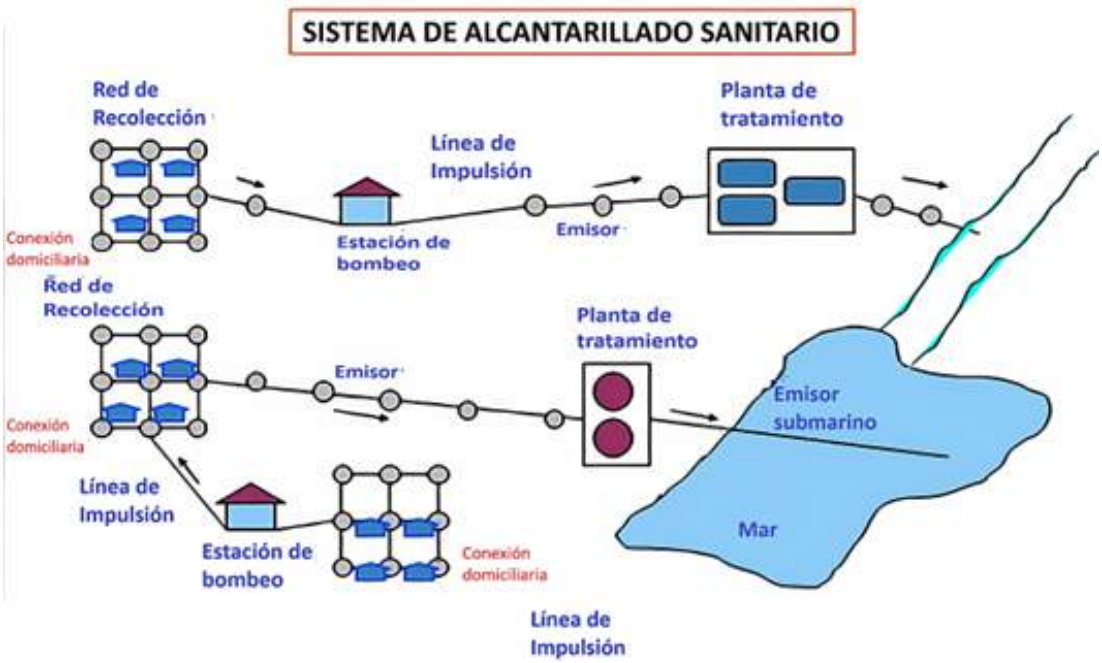


Nota. Elaborada con Perplexity AI, (2025b).

La Figura 25 ilustra el funcionamiento del alcantarillado sanitario, desde los hogares a su destino final como puede ser un río, o un emisor submarino después de haberla tratado (Comisión Nacional del Agua, 2019).

Figura 25

Principales componentes del alcantarillado sanitario



Atarjeas: Estas son canales que funcionan a gravedad, es decir, son abiertos en su sección, y se utilizan para recolectar las aguas lluvia y posteriormente conducirlas a los colectores.

a. Colector: Se llama así a las tuberías cuya finalidad es transportar las aguas residuales o pluviales.

b. Interceptor: de igual manera se componen de tuberías para interceptar las aguas antes de su ingreso al sistema sanitario.

c. Emisor: Estas tuberías se utilizan para llevar el agua desde el colector final o pozo de revisión hacia su destino de tratamiento que se conoce como PTAR.

Otros componentes de los drenajes

En la Figura 26 se presenta un esquema generado mediante CAD donde se muestra el funcionamiento del sistema sanitario con sus principales elementos, pero además de esto, se pueden tener los siguientes elementos (Comisión Nacional del Agua, 2019).

a. Mayores cámaras de inspección

b. Estaciones de bombas

Materiales para tuberías de alcantarillado

c. Acero: El acero es el material más resistente y duradero en la mayoría de las aplicaciones, aunque esto se traduce en un mayor costo.

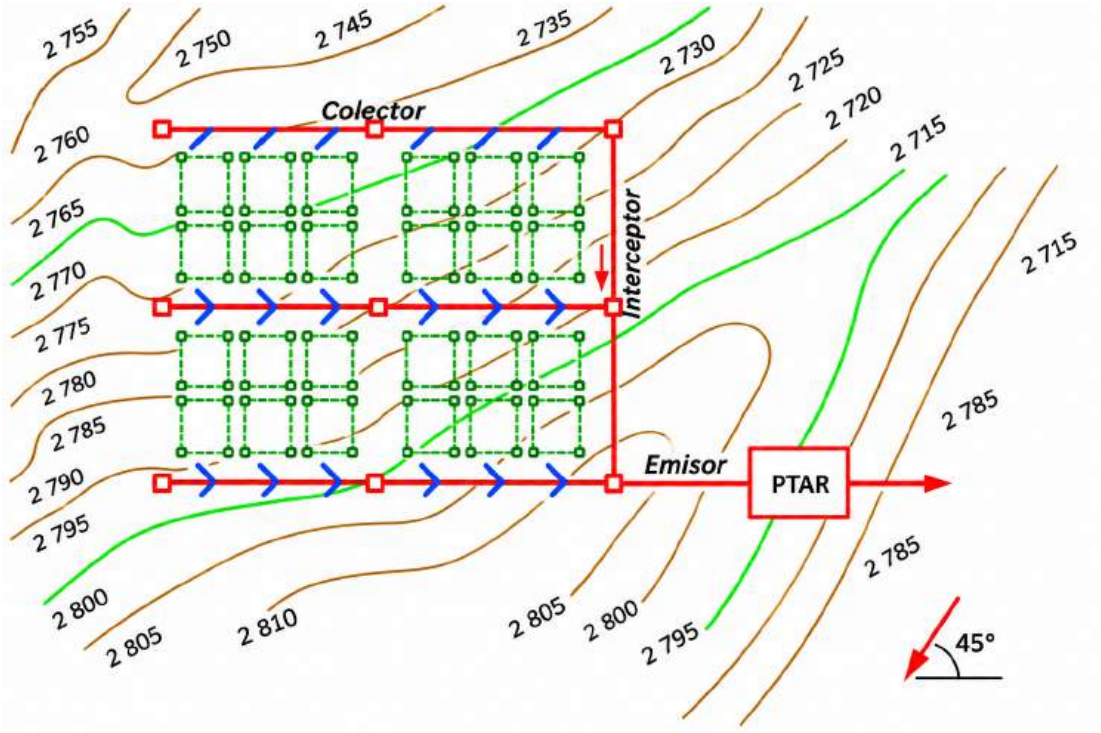
d. Concreto: Las tuberías de concreto son menos costosas que las de acero, pero son menos resistentes a la corrosión.

e. PVC: Las tuberías de PVC son las más económicas y fáciles de instalar. Sin embargo, son menos resistentes que las de acero o concreto.

f. PRFV: Las tuberías de PRFV son una combinación de poliéster y fibra de vidrio. Son muy resistentes a la corrosión y tienen una vida útil prolongada.

Figura 26

Esquema de un drenaje sanitario



Características de los drenajes

De acuerdo con (Comisión Nacional del Agua, 2019), las tuberías de alcantarillado deben cumplir con las siguientes características.

a. Resistencia mecánica: Las tuberías deben ser lo suficientemente resistentes para soportar el peso del terreno y de las aguas residuales.
b. Resistencia a la corrosión: Las tuberías deben ser resistentes a la corrosión del suelo y de las aguas residuales.
c. Permeabilidad: Las tuberías deben ser lo suficientemente impermeables para evitar la fuga de las aguas residuales.
d. Limpieza: Las tuberías deben ser lo suficientemente lisas para facilitar la limpieza.

Dimensionamiento de las tuberías del drenaje

El dimensionamiento de las tuberías de alcantarillado se basa en el caudal de aguas residuales que deben transportar. El caudal de aguas residuales se calcula en función de la población servida al final del periodo óptimo de diseño, la dotación con las variaciones de consumo, el coeficiente de simultaneidad de Harmon para obtener el caudal máximo instantáneo, el coeficiente de retorno, y las aguas de infiltración y conexiones ilícitas (Comisión Nacional del Agua, 2019).

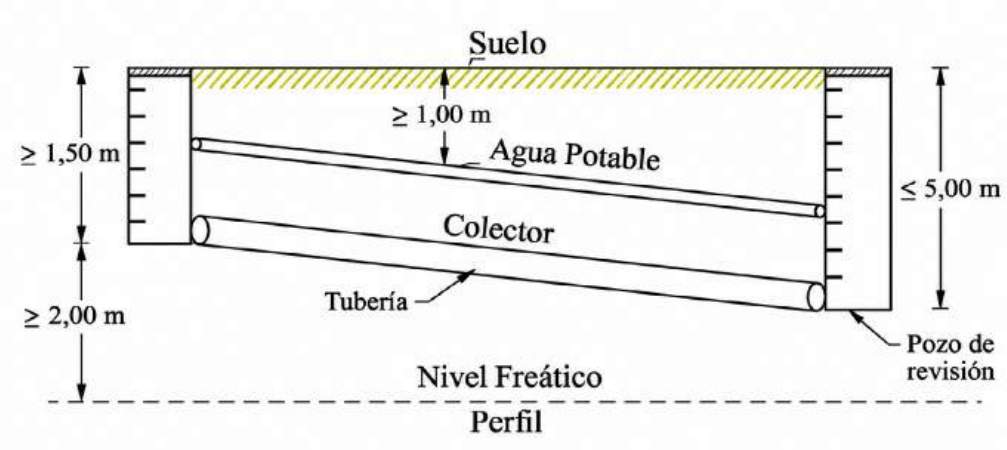
Esquemas de alcantarillado:

a. Alcantarillado separado: En este esquema, las aguas residuales domésticas e industriales se conducen por tuberías separadas.
b. Alcantarillado combinado: En este esquema, las aguas residuales domésticas e industriales se conducen por la misma tubería.

A continuación, la Figura 27 se presentan las profundidades recomendadas, en perfil, de la tubería de un drenaje, para que el proyecto no sea costoso, y garantizando que en las intersecciones la tubería de agua potable esté por lo menos 1 m sobre el colecto. Las alturas se pueden modificar en función de la topografía y de las recomendaciones del ingeniero geotécnico.

Figura 27

Profundidades recomendadas en la instalación de una tubería de drenaje



Mediciones de caudales en drenajes en operación para su diagnóstico

Método volumétrico

El método volumétrico, como se observa en la Figura 28 se emplea con un recipiente de volumen conocido y con un temporizador, el cual indica el tiempo de llenado del recipiente en segundos, se observa a detalle el procedimiento en la Tabla 9.

El caudal se calcula con la ecuación (1).

$$Q = \frac{Volumen\ de\ agua\ (L)}{Tiempo\ de\ llenado\ (s)} = \frac{V}{T} \qquad (1)$$

Figura 28

Medición de caudales de una tubería con el método volumétrico



Tabla 9

Materiales y procedimiento para medir el caudal con el método volumétrico

Materiales	Procedimiento
• Cronómetro • Recipiente • Tubos o láminas para encausar el agua	1. Encausar el agua 2. Colocar el recipiente bajo la corriente, al mismo tiempo se enciende el cronómetro y se detiene al retirar el recipiente. 3. Calcular el caudal

Método de sección transversal y de Manning

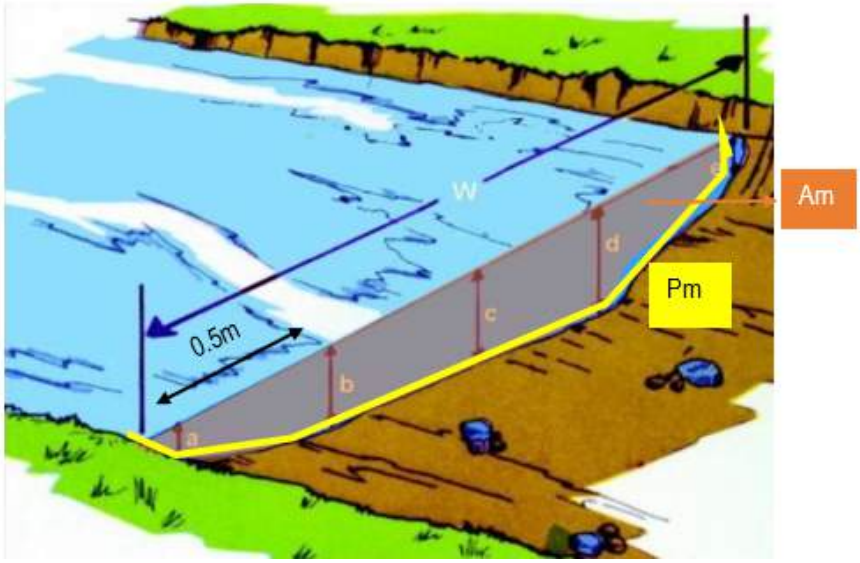
El método de sección transversal se determina el caudal en función del área y la velocidad (Instituto de Capacitación del Consejo (ICC), 2022). Para determinar el caudal con el método de Manning se necesita el área y perímetro mojado, se mide la profundidad de la sección cada 0.5m, como se observa en la Figura 29 y el proceso se detalla en la Tabla 10. Para determinar la velocidad existen dos métodos: Manning y flotadores (Drop Hidráulica Aplicada, 2025).

El caudal se calcula con la ecuación 2.

$$Q = \frac{Volumen\ de\ agua\ (L)}{Tiempo\ de\ llenado\ (s)} = \frac{V}{T} \qquad (2)$$

Figura 29

Medición de caudales con el método de la sección transversal y de Manning



Nota. Elaborada a partir de a partir de (UF/IFAS, 2023)

Tabla 10

Procedimiento para medir caudales con el método de la sección transversal y de Manning

Materiales	Procedimiento
• Nivel de burbuja • Cuerda • Jalón • Flexómetro	1. Señalar la cuerda cada 0.5m 2. Coloca la cuerda en la sección transversal y nivelar. 3. Cada 0.5 m medir la profundidad con el jalón y el flexómetro. 4. Calcular el área y el perímetro mojados.

Para determinar la velocidad con el método de Manning se aplica la ecuación 3.

$$v = \frac{R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}}}{n} \qquad (3)$$

Donde:

R= radio hidráulico en m

J= pendiente en m/m

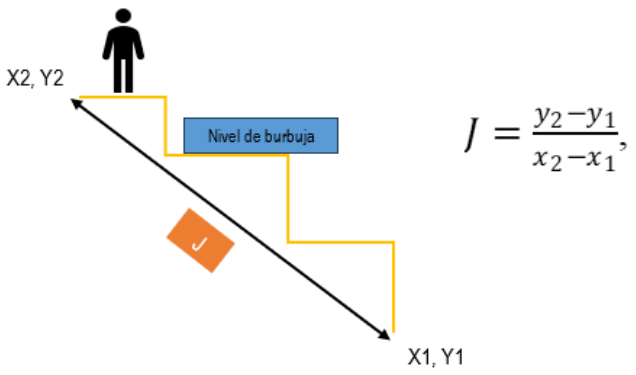
n=rugosidad es adimensional

La rugosidad es un factor teórico que depende de la superficie del cauce o del material de la tubería.

La pendiente se calcula conocidos dos puntos P1(X1, Y1) y P2(X2, Y2) Figura 30.

Figura 30

Esquema para la medición en campo de la pendiente de un cauce natural o tubería



El radio hidráulico es igual a $R = \frac{A_m}{P_m}$, donde Am es el área mojada y Pm es el perímetro mojado, valores que se obtienen en campo de la sección transversal del cauce principal o de la tubería.

Método de los flotadores para medir la velocidad de un cauce natural

La velocidad se obtiene delimitando dos secciones a lo largo del cauce, primero, se mide la distancia entre las dos secciones, luego se coloca el flotador en la sección inicial y de inmediato se toma el tiempo para aplicar después la ecuación 4.

$$v = \frac{x}{t} \qquad (4)$$

Donde:

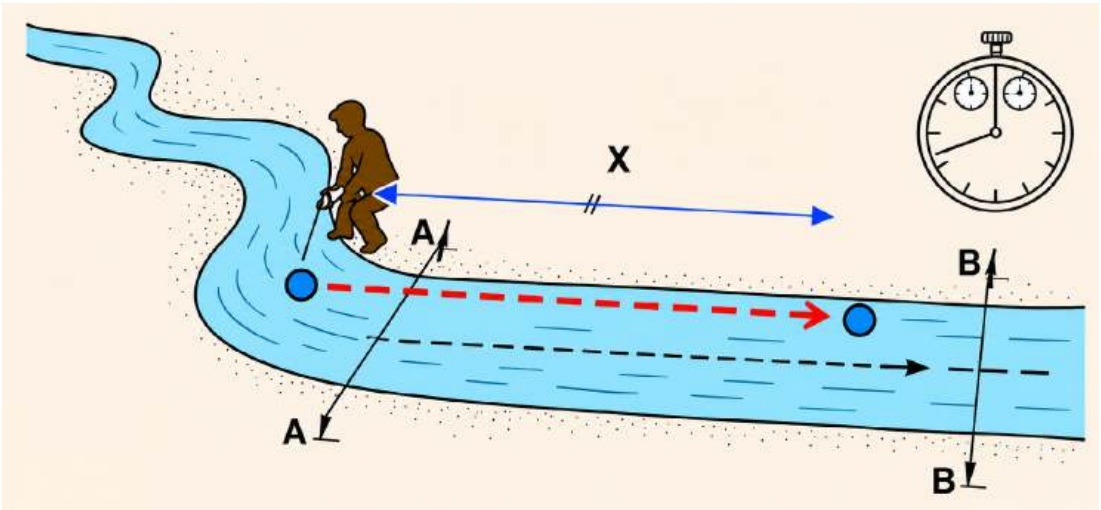
v es la velocidad promedio del cauce.

x es la distancia del cauce en m

t es el tiempo que se demora los flotadores en recorrer desde la sección A a la B. Figura 31.

Figura 31

Método para medir la velocidad de un cauce principal por flotadores



Nota. Obtenida de Instituto de Capacitación del Consejo (ICC), 2022).

Método para medir el caudal máximo maximorum

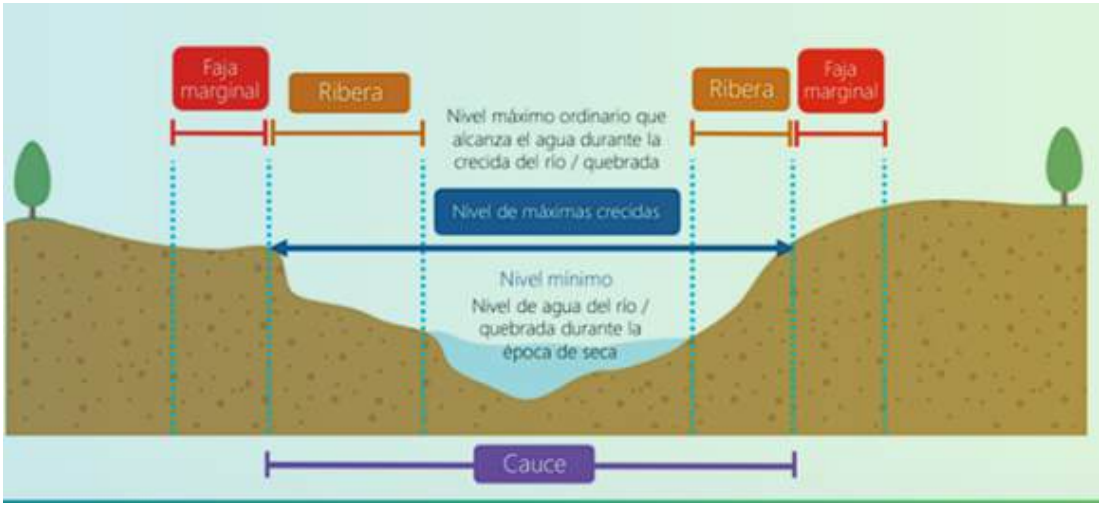
El caudal *máximo maximorum* se obtiene utilizando el método de sección transversal con Manning, pero se necesita trabajar con los valores de área y perímetro máximos, para así obtener el radio hidráulico *máximo maximorum.*

$$R = \frac{A_{mojada\ max}}{P_{mojada\ max}}$$

Los valores de área y perímetro del m*áximo maximorum* reflejan la huella que dejó el caudal de máxima crecida histórico en el cauce, por consiguiente, se tiene el mayor caudal de escurrimiento en la faja marginal. Figura 32.

Figura 32

Diferentes niveles de los cauces naturales



Nota. Obtenida de (ASD, 2025).

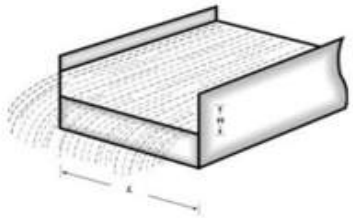
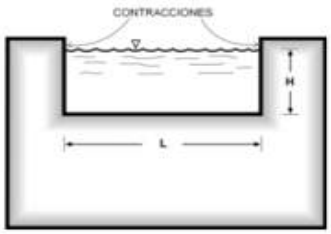
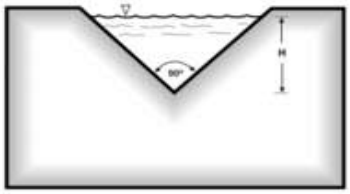
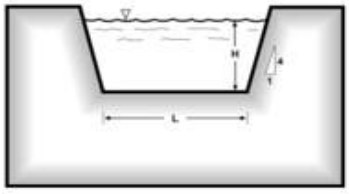
Método para medir el caudal por vertederos

El método de vertederos consiste en colocar ante la corriente una lámina para que el flujo atraviese una sección predeterminada, que sea triangular, rectangular o trapezoidal (Tabla 11) (Sandoval-Erazo, 2013).

Se recomienda utilizar el software de Hcanales (Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica, 1999) para calcular los caudales de manera más eficiente, así mismo, el software académico de Flow Master de Bentley (Bentley Systems, 2020) con su herramienta de rating curve para afinar los diseños.

Tabla 11

Tipos de vertedero para medir caudales.

Vertedero rectangular sin contracciones	Vertedero rectangular con dos contracciones
 $Q = 1.84\,L * H^{3/2}$	 $Q = 1.84\,(L - 0.2H) * H^{3/2}$
Vertedero triangular	**Vertedero trapezoidal**
 $Q = 1.4\,L * H^{5/2}$	 $Q = 1.859 * L * H^{3/2}$

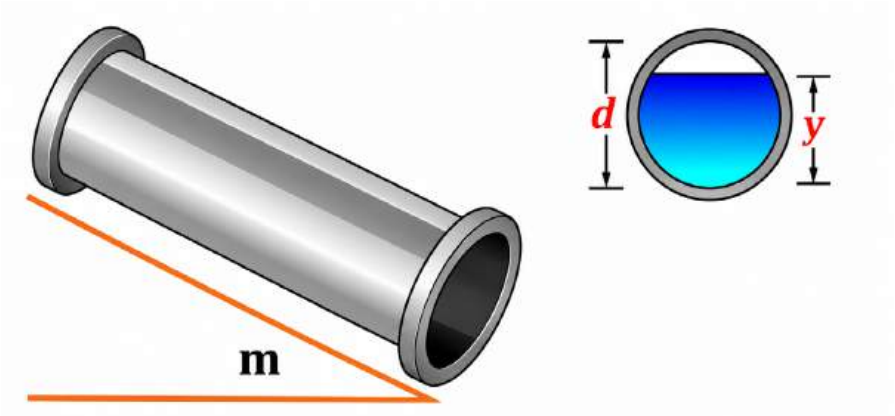
Nota. Elaborado a partir de (Sandoval-Erazo, 2013).

Método para medir el caudal en tuberías parcialmente llenas

El método de tuberías parcialmente llenas necesita cuatro factores para calcular el caudal en el software Hcanales y Flowmaster, los factores son los siguientes: tirante, diámetro, rugosidad del material de la tubería y la pendiente (Figura 33).

Figura 33

Esquema de una tubería en perfil y en sección transversal



Nota. Elaborado a partir de (Sandoval-Erazo, 2013).

Ejemplo

Calcular el caudal del agua si se tiene una tubería de PVC con un diámetro de 60 cm, trabajando al 80% y la sección longitudinal de la tubería es del 2%.

Datos para ingresar al Hcanales. Figura 34.

d=0.6m

y=0.6m*0.8=0.48m

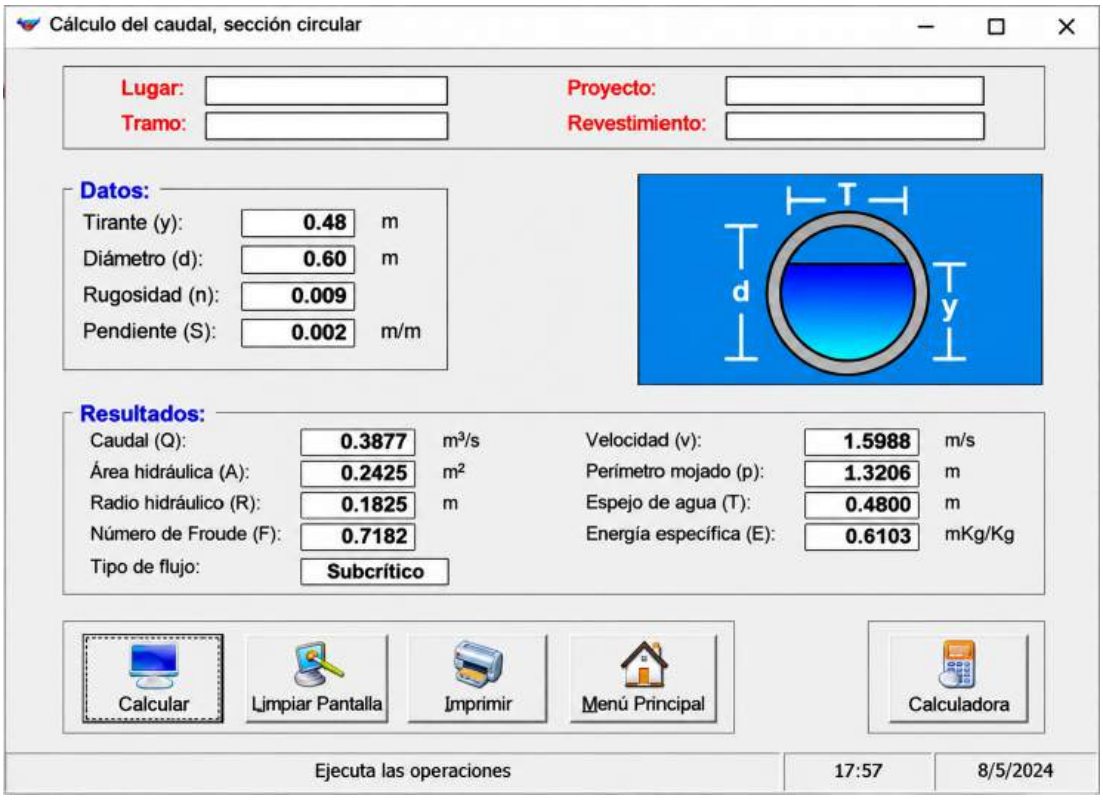
n=0.009 (valor teórico) para tuberías de PVC (Sandoval-Erazo, 2013).

m=0.002%

Solución con el software H Canales:

Figura 34

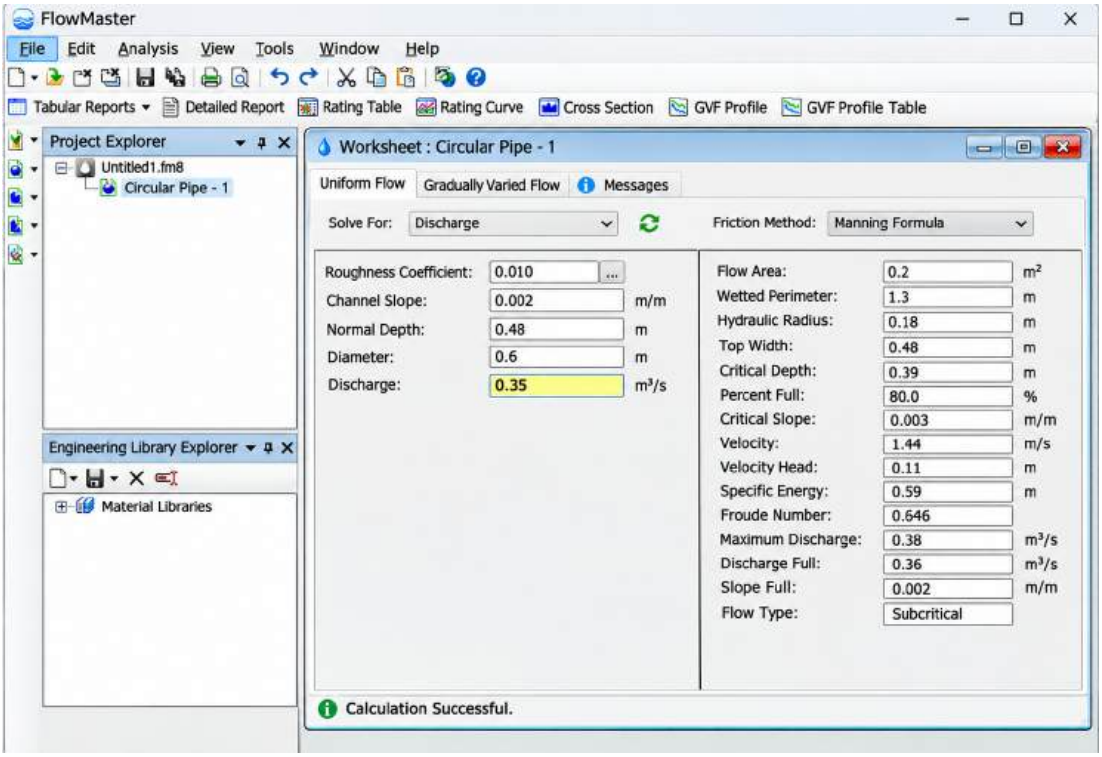
Ingreso de la información al software Hcanales



Nota. Elaborado a partir de Software Hcanales V3.0

Figura 35

Solución con el software Flowmaster



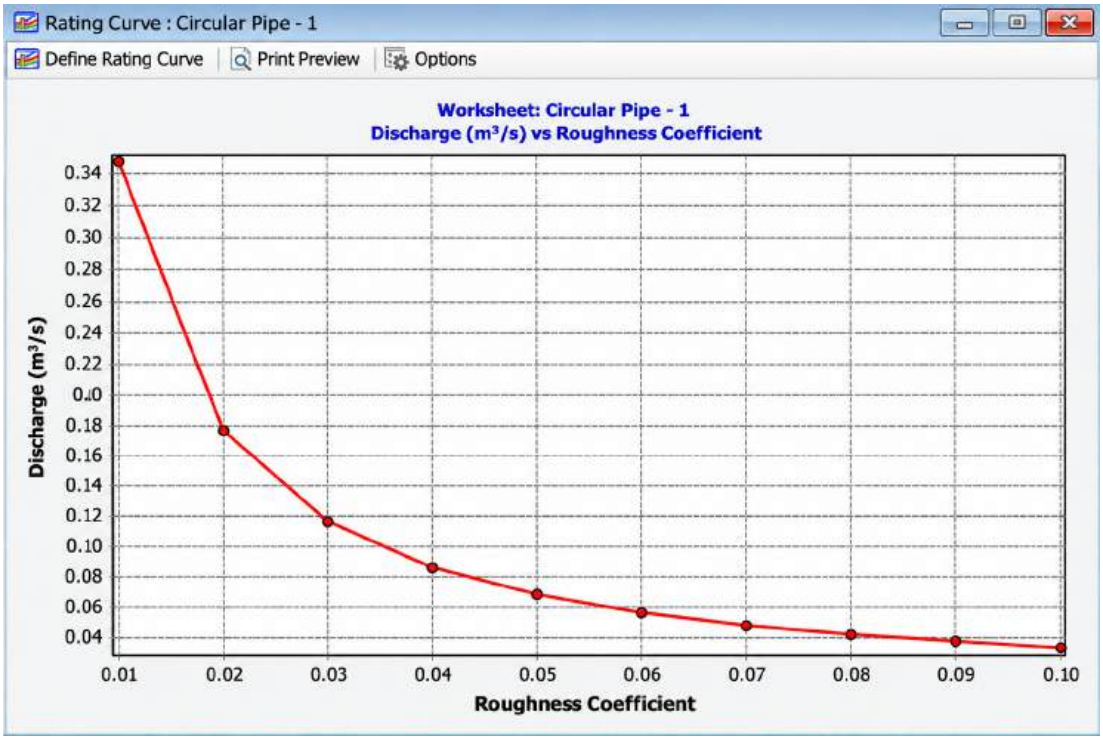
Nota. Elaborado utilizando el Software Flowmaster Edition update V3.0

La ventaja de utilizar el Flowmaster con respecto al Hcanales es que el primero permite realizar la rating curve, por consiguiente, en función de las variables que se requieran, determinar el mejor cálculo para solventar todas las necesidades, así, todas las variables cumplen de una manera satisfactoria los parámetros de diseño.

En la Figura 36 se presenta la rating curve del caudal con respecto al coeficiente de rugosidad, por ejemplo, si se pide bajar el caudal a 0.12 m3/s, el coeficiente de rugosidad se obliga a 0.03, hay que buscar un material que lo proporcione.

Figura 36

Rating curve del caudal en función del coeficiente de rugosidad



Nota. Elaborado utilizando el Software Flowmaster Edition update V3.0



CAPÍTULO III

Diagnóstico de proyectos y sistemas de operación de agua potable y alcantarillado para proponer su rediseño

3. Diagnóstico de proyectos y sistemas de operación de agua potable y alcantarillado para proponer su rediseño

3.1. Diagnóstico de los sistemas de agua potable y alcantarillado

Un estudio de agua potable y alcantarillado es la planificación de un proyecto basado en un análisis, diagnóstico y solución de un problema; por su parte, el diseño es el trabajo gráfico de un estudio planificado, es decir, los planos que se llevarán al campo para la construcción (Padre et al., 2023).

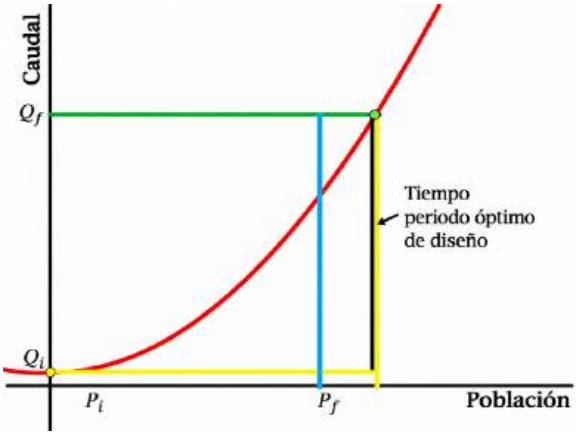
Un sistema de agua potable o alcantarillado requiere un diseño adecuado, ya que sin estudios previos no se puede desarrollar un proyecto. Un proyecto se divide en tres fases clave: estudios y diseño, construcción, y operación y mantenimiento. Si alguna de estas fases falla, el proyecto completo se ve afectado negativamente. La etapa de estudios es especialmente importante porque en ella se planifican todas las demás fases. En esta etapa se definen las especificaciones técnicas para la construcción, los materiales, equipos, el cronograma de trabajo, la inversión y el equipo humano necesario. Además, se detallan las actividades relacionadas con la gestión, la puesta en marcha y la operación del servicio, incluyendo tareas diarias, semanales, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales. La planificación integral de estas fases es crucial para el éxito del proyecto, y se deben considerar con suficiente antelación los costos de ejecución, operación y mantenimiento para cada alternativa (Secretaría del Agua, 1992).

Como ya se dijo, un proyecto abarca las tres etapas, en cambio un sistema corresponde a la prestación del servicio, en otras palabras, se dice que un proyecto va desde los diseños hasta la inauguración del servicio, y el sistema será desde la inauguración hasta la vida útil del mismo.

El proyecto se diseña de acuerdo con la oferta y la demanda, no con base a la vida útil de los elementos (Gortaire et al., 2016). En la Figura 37 se presenta la relación de oferta y demanda con la población y caudal, al intervalo de tiempo se lo conoce como periodo óptimo de diseño, este, sobre todo de la obra civil, es menor que la vida útil de los elementos, al contrario del equipo electromecánico (Garcia-Rodríguez & Gonzalez-Guzman, 2022).

Figura 37

Relación de la oferta y la demanda en proyectos de agua potable y saneamiento



Cuando el estudio de la oferta y la demanda presentan problemas en proyectos de agua potable y alcantarillado, se pueden tener fallas de diseño (Figura 38), y fallas del sistema (Figura 39). Esto solo se puede evaluar después de que se cumpla el tiempo del periodo óptimo de diseño.

Figura 38

Fallas de diseño, la población real fue menor que la población de diseño

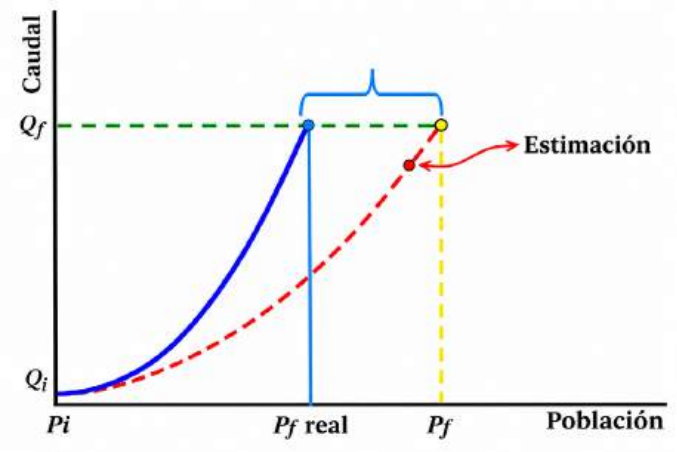
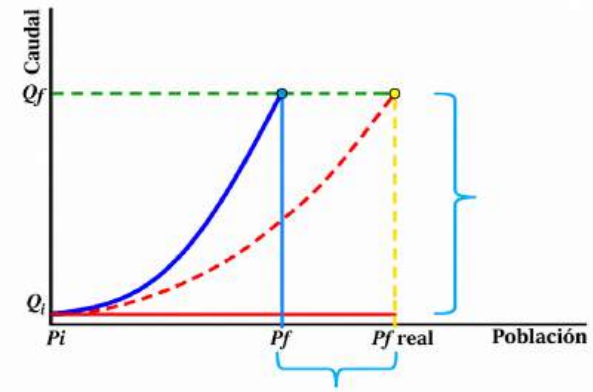


Figura 39

Fallas del sistema, la población real fue mayor que la población de diseño



Cuando se tienen fallas de diseño se tiene un proyecto muy costoso y cuando se tiene fallas del sistema no hay agua para la población futura.

3.2. Estudios manométricos

Es importante mantener las presiones recomendadas por el fabricante o las presiones calculadas en el diseño para evitar posibles daños en las materias que causen la interrupción del servicio de agua potable y alcantarillado (Konstantinou et al., 2024).

Los estudios manométricos constituyen una herramienta de gran utilidad para evaluar el comportamiento hidráulico de las redes de distribución de agua potable, debido a que permiten registrar y analizar las variaciones de presión que se producen en diferentes puntos del sistema y durante distintos períodos de operación. La información obtenida facilita la identificación de condiciones anómalas de funcionamiento y aporta criterios técnicos para la evaluación del desempeño de la red, contribuyendo así a una toma de decisiones más adecuada en las actividades de operación, control y mantenimiento.

Estos estudios pueden ser realizados en los siguientes elementos del sistema:

a. Red de distribución

b. Red de recolección

c. Plantas de tratamiento

Presión: Fuerza sobre una superficie y se evalúa mediante un manómetro, en la Tabla 12, indica presiones recomendadas para sistemas de agua potable en poblaciones urbanas y rurales.

En la Figura 40 se presenta un caudalímetro casero, muy útil cuando se necesita realizar cuantificaciones de caudales con materiales comunes (Perplexity AI, 2025c).

Figura 40

Manómetro casero

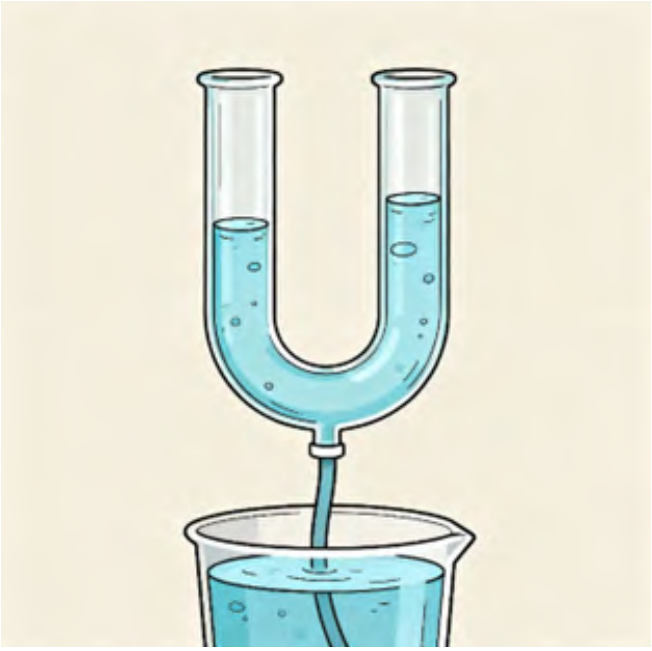


Tabla 12

Presiones recomendadas en poblaciones urbanas y rurales (Secretaría del Agua, 1992).

POBLACIÓN			
	Rural	**Urbana**	**Unidad**
Presión mínima	7	10	mca
Presión máxima	40	50	mca
Presión recomendada	20		mca

Nota. Obtenida de (Secretaría del Agua, 1992).

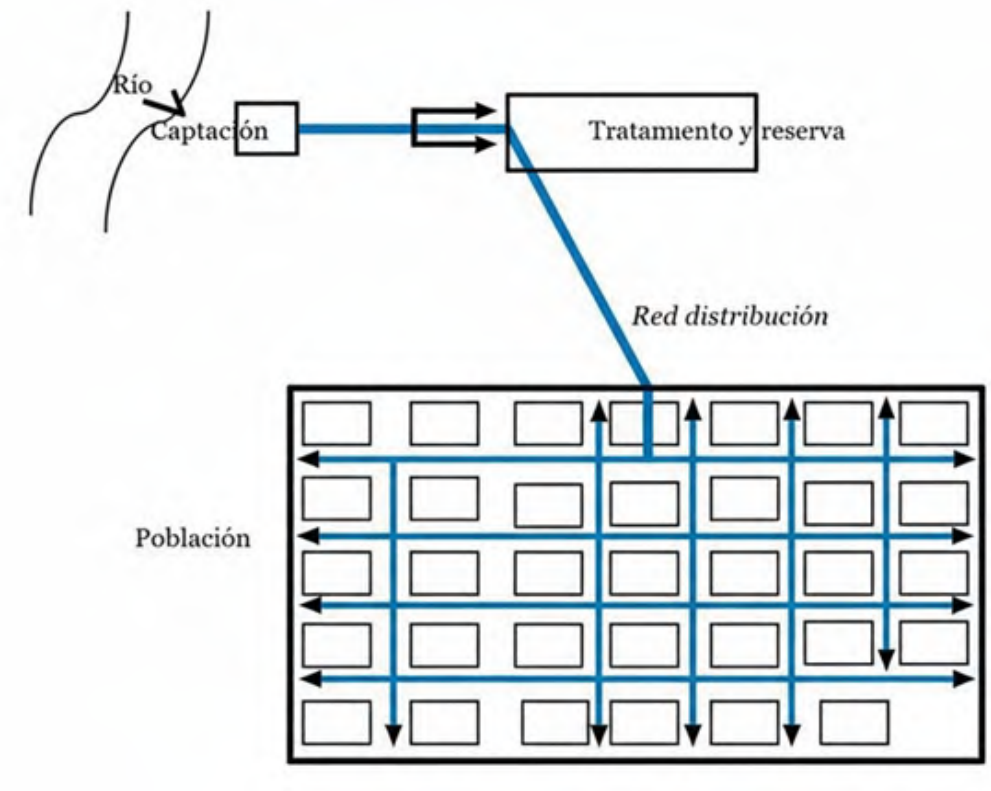
De manera comparativa, en poblaciones urbanas o más específicamente en edificios la presión mínima, debe ser de 1.02 kg/cm^2. En el caso de fluxores y calentadores, debe ser de 1.53 kg/cm^2. Y para los puntos de consumo presión máxima será de 5005.1 kg/cm2. Recordando que 1 kg/cm^2 equivale a 10 mca, sin embargo, la presión recomendada debe ser 20 mca (Sborz et al., 2024).

En la Figura 41 se presenta una planimetría con todos los elementos que compone un sistema de agua potable en donde se tiene que medir la presión

con manómetros y comparar con las presiones que se encuentran en el estudio en el diseño, tienen que ser similares.

Figura 41

Esquema de población en donde la presión medida en campo tiene que ser similar a la del estudio del diseño

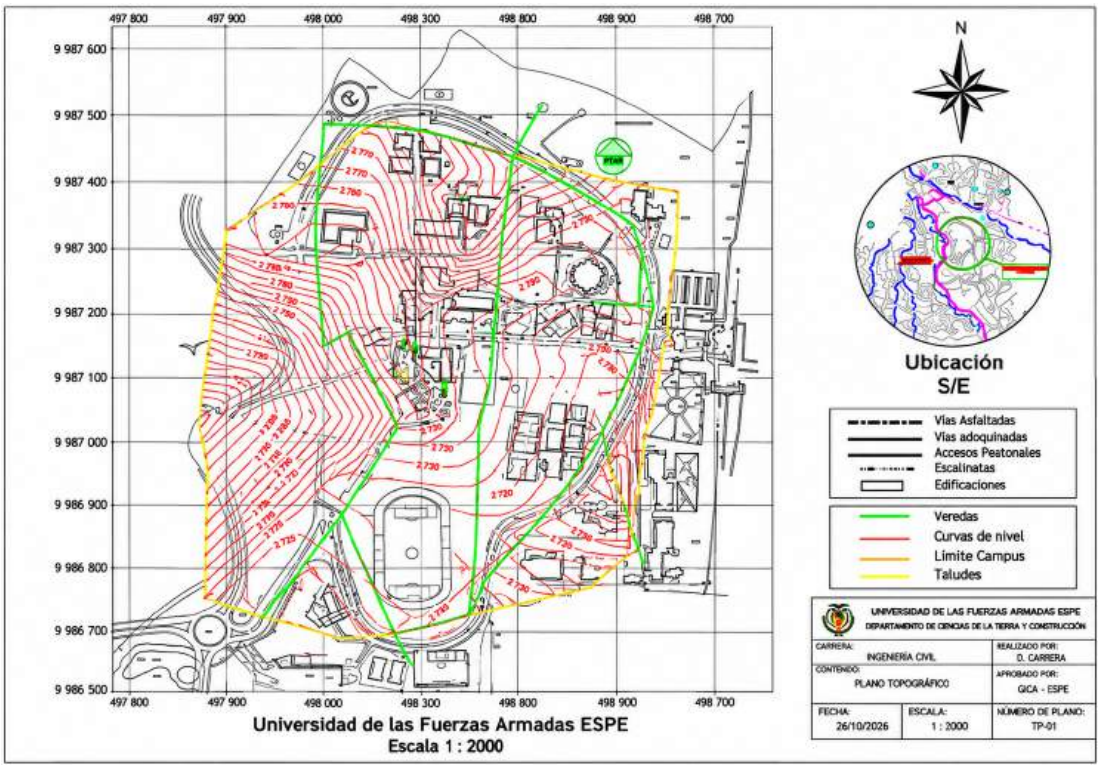


Se realizó un estudio de presiones en el campus matriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en el año 2022, con la obtención del mapa de isolíneas que se presenta en la Figura 42.

Inicialmente se modelaron en EPANET las presiones, obteniéndose valores de 4.44 y 36.43 mca mínimo y máximo, respectivamente. Asimismo, se midió in situ con un manómetro, con resultados de 26.75 y 41.25 mca, mínimo y máximo, respectivamente. Por consiguiente, la ESPE no tiene problemas de presión. No obstante, las tuberías viejas pueden tener problemas de roturas por las presiones elevadas, sobre todo las que se encuentran en la línea de carga más cercana (Garces-Alarcon, 2022).

Figura 42

Isolineas de presión en el campus matriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE



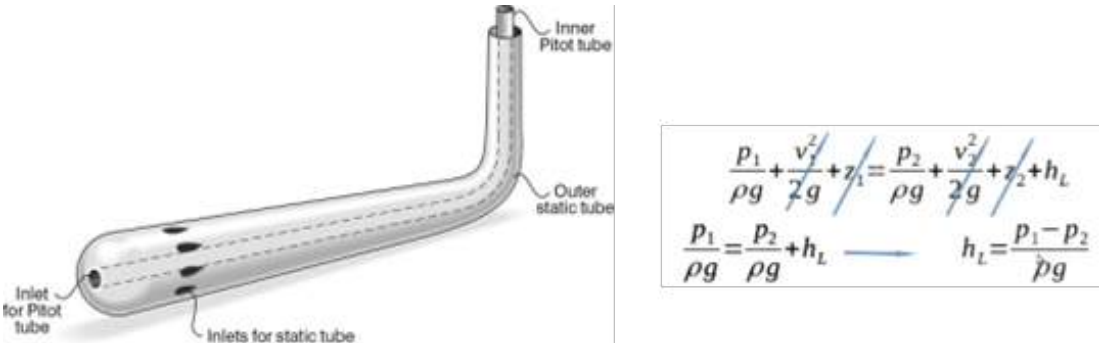
Nota. Obtenida de (Garces-Alarcon, 2022).

3.3. Tubos Pitot

En la Figura 43 se muestra el tubo Pitot, una alternativa económica a una placa de orificio, y su precisión oscila entre el 0,5 % y el 5 %, que es comparable a la de una placa de orificio. Su rango de flujo de 3:1 (algunos funcionan a 4:1) también es similar a la capacidad de la placa de orificio. Los tubos de Pitot, al igual que las placas de orificio y otros medidores de flujo de presión diferencial, funcionan según los principios de la ecuación de Bernoulli, que establece que a medida que aumenta el flujo de un fluido, se produce una pérdida de presión. Esta relación fundamental permite la medición indirecta del caudal a través de la diferencia de presión entre el punto de impacto y el punto estático en la tubería (Maiolo et al., 2019).

Figura 43

Tubos pitot y su funcionamiento



Nota. Obtenida de (Maiolo et al., 2019).

3.4. Geófono

El geófono se utiliza en la evaluación de sistemas de agua potable. Es un dispositivo que se utiliza para medir las vibraciones del suelo. Estas vibraciones pueden ser causadas por diferentes factores, como el flujo de agua a través de las tuberías, las fugas de agua, los terremotos, etc. Los geófonos se pueden utilizar para identificar posibles problemas en los sistemas de agua potable y alcantarillado. Por ejemplo, si se detectan vibraciones en un punto de la red de distribución, puede ser una señal de una fuga de agua. La detección temprana de estas fugas es crucial para minimizar las pérdidas de agua no facturada y optimizar la eficiencia de los sistemas de distribución (D. Carrera-Villacrés, Asipuela, et al., 2025). En la Figura 44 se presenta el geófono marca Sewerin Aqua Test T10 (SEWERIN, 2025).

Figura 44

Geófono marca Sewerin Aqua Test T10.



A mayor fisura interna, menor es el ruido que se emite. Una meta importante de la detección de fugas es encontrar exactamente dónde está localizada la fuga. Típicamente, a mayor sonido, menor es la distancia a la que se encuentra la fuga. Las fugas pequeñas a elevadas presiones usualmente emiten mayor ruido que las fugas más grandes bajo presiones mínimas. En efecto, la mayoría de las fugas grandes casi no emiten ningún tipo de sonido. En la Tabla 13 se presenta la frecuencia de vibración de acuerdo al material de la tubería (D. Carrera-Villacrés, Martínez-Molina, et al., 2024).

Tabla 13

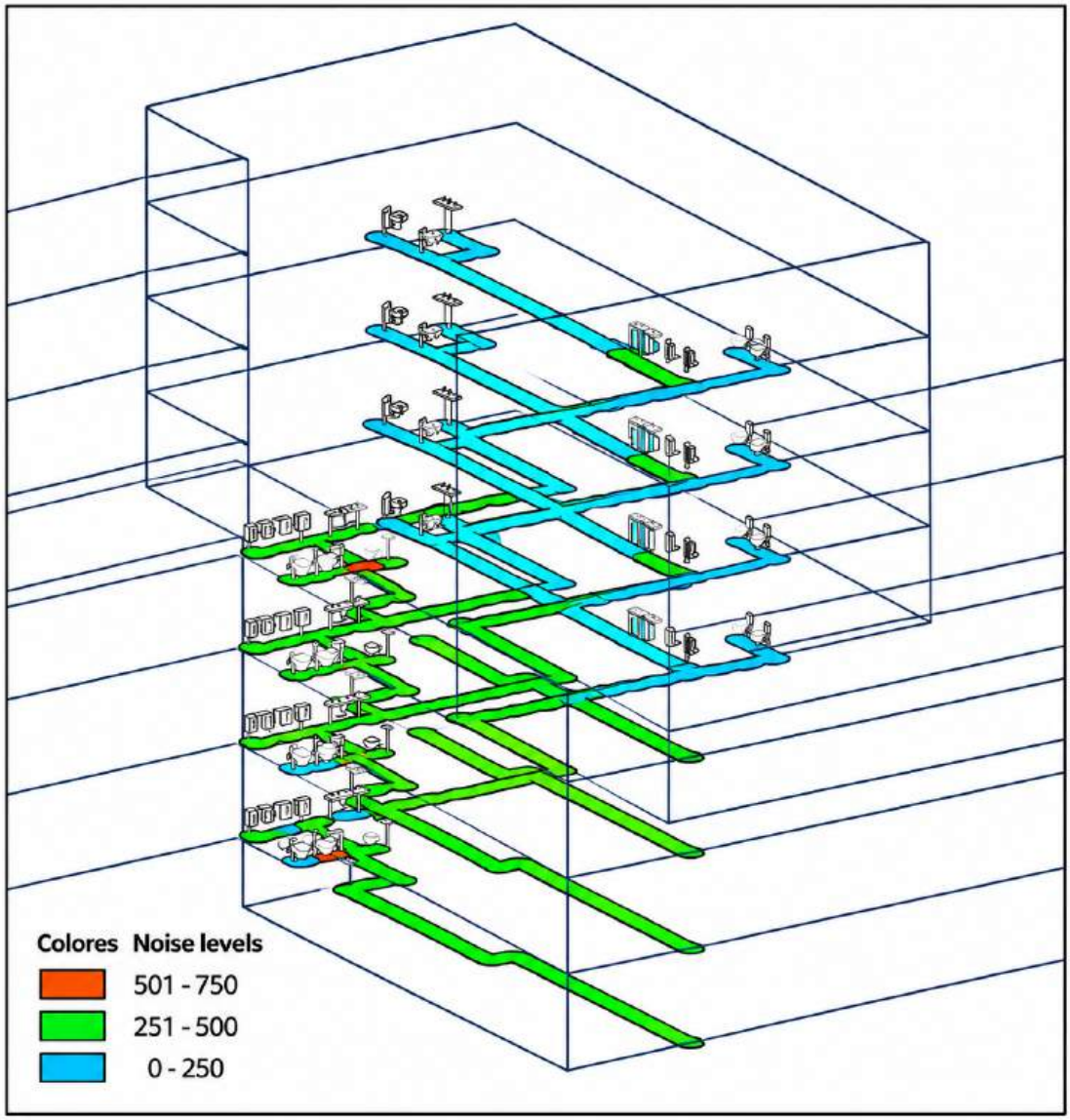
Frecuencia de vibración de acuerdo al material

Material	Frecuencia de vibración
Acero	Buena propagación de ruido
Hierro y cobre	Alta frecuencia
Asbesto, cemento/concreto	Frecuencia Normal
PVC y plomo	Baja frecuencia
Polietileno	Mala propagación de ruido

En la Figura 45 de la página siguiente se muestra el mapa de calor de fugas de agua en isometría del edificio del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE de acuerdo con el nivel de ruido presentado por el geófono AquaTest T10. El mapa de calor fue realizado con la licencia académica del software Revit (D. Carrera-Villacrés, Martínez-Molina, et al., 2024).

Figura 45

Mapa de color con el ruido que se obtuvo con el geófono en el edificio administrativo de la ESPE.



Con las fallas de diseño y de sistema de una manera global se detectan los problemas del sistema de agua potable o alcantarillado, para poder seguir localizando las fallas, se necesita realizar estudios manométricos, así, comparar las presiones medidas en territorio con las del diseño, sin embargo, no se conocen los puntos exactos de la falla, para solventar este problema se utilizan los tubos Pitot y más comúnmente se realizan estudios de geofonamiento, por consiguiente, encontrar el punto exacto en las redes con el problema, y finalmente, proceder a reparar.

Con la implementación de los gemelos digitales I-Twin se logrará proponer mantenimientos rutinarios, uno de los principales propósitos de las ciudades inteligentes. Esta estrategia, al integrar datos en tiempo real con modelos virtuales, mejora significativamente la eficiencia operativa y reduce los costos asociados a las pérdidas de agua y al mantenimiento reactivo, lo que es crucial frente a los retos de escasez hídrica y la infraestructura envejecida (Ortega-Ballesteros et al., 2021; Zekri et al., 2022).

Generar una Dirección o Departamento de Aguas No Contabilizadas (ANC) es obligatorio para los responsables de la gestión del agua.

3.5. Aguas No Contabilizadas ANC

En el año 2025 se publicó el texto Agua No Contabilizada con el apoyo de JICA y del BDE, donde las principales conclusiones fueron que el índice ANC en el año 2020 fue de 47,7 %, equivalente a 320 millones de USD en pérdidas para el Ecuador. El proyecto también fue complementado con una Guía Técnica para Reducir el Agua No Contabilizada, publicada por ARCA (Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) & Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), 2025).

El agua no contabilizada en un sistema de distribución representa la diferencia que existe entre la medición de la cantidad de agua producida, al sistema de distribución y el volumen de agua considerado como base para la facturación y cobro de servicios. La correcta medición de los consumos y la aplicación de tarifas adecuadas son fundamentales para garantizar la sostenibilidad económica de los servicios hídricos y el cumplimiento del derecho humano al agua, asegurando que el suministro sea suficiente, saludable y accesible (Cortez-Mejía et al., 2024).

Existen amplios términos utilizados en un balance hidráulico para calcular las pérdidas de agua potable en un sistema de distribución; la IWA, International Water Association, definió la terminología (Figura 46). Esta terminología estandarizada define las pérdidas de agua potable como: Pérdidas de agua = Pérdidas “reales” + Pérdidas “aparentes” (Pilcher, 2003; Rosero-Armijo, 2019).

El 34% de toda el agua mundial es agua no contabilizada, y es un problema que varía según la región. A continuación, se presentan las tasas de pérdidas de agua para distintos lugares del mundo según lo establece la Agencia Internacional de Energía en el año 2016 (Odeh & Ishaq, 2024).

- En Estados Unidos la pérdida estimada está entre 10 y 30 %.
- En América Latina el índice de agua no contabilizada es difícil de calcular dado el bajo grado de medición, se ha estimado que las pérdidas se encuentran entre el 55% y 65%.
- Bogotá Colombia posee un índice de agua no contabilizada de 44% en el año 2011.
- Ecuador tuvo una tasa de agua no contabilizada que va desde 34% hasta 65%, para el año 2015, lo que representa una pérdida de 100 millones de USD para el país, por ejemplo, el estudio realizado en el cantón Pangua resultó 67.90% de volumen de agua no contabilizada (Rosero-Armijo, 2019).

Tabla 14

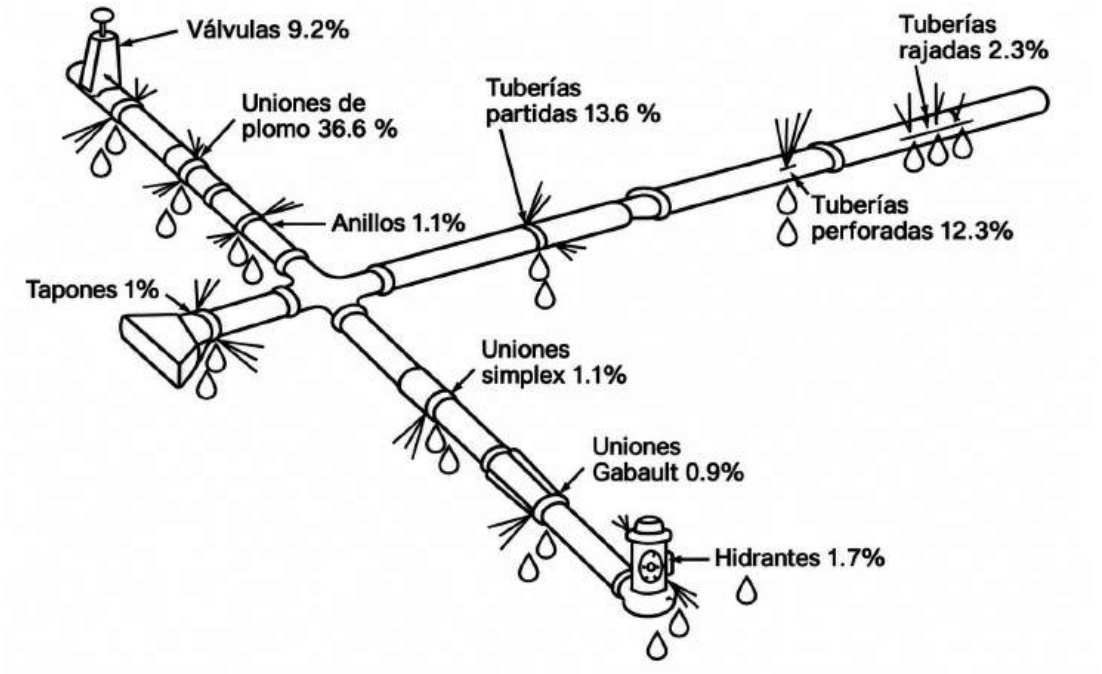
Volumen de agua suministrado de agua potable y la clasificación de pérdidas (Rosero-Armijo, 2019).

Volumen suministrado al sistema de distribución	Consumo autorizado	Consumo Autorizado Facturado	Consumo medido facturado	Agua contabilizada
			Consumo no medido facturado	
		Consumo Autorizado No Facturado	Consumo medido no facturado	
			Consumo no medido no facturado	
	Pérdidas de agua potable	Pérdidas Aparentes	Consumo no autorizado	Agua no contabilizada
			Inexactitudes en la medición	
		Pérdidas Reales	Fugas en tanques de almacenamiento	
			Fugas en redes y acometidas	

En la Figura 46 de la página siguiente se presentan los sitios de fugas más frecuentes en las redes de agua potable.

Figura 46

Sitios de fugas frecuentes en líneas principales y secundarias



El Agua No Contabilizada (ANC) está dada por la ecuación 5.

$$ANC = \frac{Volumen\ producido - Volumen\ Facturado}{Volumen\ producido} \qquad (5)$$

Ejercicio aplicación sobre Aguas No Contabilizadas (ANC)

Calcular las pérdidas de agua en Quito en USD y en L/hab-día. Si de todas las captaciones ingresan a la ciudad aproximadamente 8000 L/s y la EPMAPS reporta Aguas No Contabilizadas (ANC) de 27% cuando el costo de agua es de 0.20 UDS/m3.

Población en la Cuidad de Quito: 2 700 000.00 habitantes (aproximadamente), según (INEC, 2025).

1. ***Dotación en Quito***

$$\frac{L}{hab - día} = \frac{8000\frac{L}{s} * \frac{86{,}400\ s}{1\ día}}{2{,}700{,}000\ hab} = 256.0\frac{L}{hab - día}$$

2. ***Cálculo de Pérdidas***

$$8000\frac{L}{s} * 0.27 = 2160\ \frac{L}{s}$$

3. ***Pérdidas en Quito***

$$\frac{L}{hab - día} = \frac{2160\frac{L}{s} * \frac{86{,}400\ s}{1\ día}}{2{,}700{,}000\ hab} = 69.12\frac{L}{hab - día}$$

4. ***Costo de pérdida por día***

$$2.160\frac{m^3}{s} * \frac{86{,}400\ s}{1\ día} = 186{,}624.00\frac{m^3}{día}$$

Solución: Entonces, si un 1 m^3, el costo es de 0.20 USD en 186 624 m^3 es 37,324.80 USD/día.

3.6. Un nuevo paradigma en el manejo de agua

En la región, existe una carencia de servicios de saneamiento que afecta a más de 106 millones de personas, poniendo en riesgo su salud personal al aumentar la posibilidad de contraer enfermedades como la diarrea, el cólera y la disentería. Esta deficiencia también representa una amenaza para la salud pública en general, al contribuir a la contaminación de las fuentes de agua (Cavallo Eduardo et al., 2020).

Este es un nuevo enfoque que está integrado en la plataforma de saneamiento óptimo y propone una visión más amplia de este servicio, que va más allá de la construcción de infraestructura. Esta visión incluye aspectos como la educación, la sensibilización y la participación de las comunidades, con el objetivo de garantizar que el saneamiento sea accesible, asequible y sostenible para todos (Becerra-Perenguez et al., 2023).

Este nuevo enfoque tiene cuatro ejes principales:

a. Gente
b. Cuencas
c. Innovaciones y tecnología
d. Políticas



CAPÍTULO IV

Parámetros y bases de diseño de proyectos de agua potable y alcantarillado

4. Parámetros y bases de diseño de proyectos de agua potable y alcantarillado

4.1. Normativa legal vigente del Ecuador de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado en poblaciones rurales

La norma Co 10.7 – 601 y CO 10.7 – 602 que indica el manejo de suministro de agua potable, eliminación de excretas y gestión de residuos líquidos en zonas urbanas y rurales respectivamente, que debe seguir un conjunto específico de directrices y procedimientos, descrito textualmente por el Ministerio del Ambiente y de Transición Ecológica en la última actualización en el año 2016 (Ministerio del Ambiente, 2025).

Población Rural – Norma Co 10.7 – 602

La disposición de desechos y desechos líquidos en el área rural se maneja bajo los siguientes ítems, según el Sistema de abastecimiento de agua potable, mencionado en el Código Ecuatoriano de Diseño y Construcción de Obras Sanitarias (Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento, 1992):

Objeto

Proporcionar los estándares fundamentales para presentar la documentación del proyecto de abastecimiento de agua potable, desechos y desechos líquidos.

Alcance

En cada una de las etapas, se definen el documento y el formato de los documentos a presentar.

Definiciones

El informe preliminar es un documento técnico que reúne todos los datos de campo, información de estudios preliminares y análisis de alternativas, junto con las conclusiones y sugerencias correspondientes.

Memoria técnica: es un documento que contiene datos generales, parámetros de diseño, una descripción detallada del sistema diseñado, análisis económico y tarifas. El presupuesto de construcción, las recomendaciones de operación y mantenimiento del sistema, el conjunto de planos y otros documentos

que permiten la implementación adecuada del proyecto están anexados a la memoria técnica. El contenido de la memoria técnica debe cumplir con los términos de referencia para el estudio.

Especificaciones técnicas de construcción: un documento que detalla las características técnicas de los materiales, equipos y herramientas. Metodologías de construcción, procedimientos de prueba y unidades de medición para cada rubro. Estas especificaciones establecen marcos de referencia para una fiscalización adecuada y están basadas en normativas nacionales (IEOS, INEN, etc.) o, en caso de que no existan, en normativas internacionales.

Resumen de memorias. Documento con los datos fundamentales del proyecto y las principales conclusiones y sugerencias. Su objetivo es mejorar la comprensión y el manejo del proyecto por parte de los administradores.

Disposiciones generales

A la conclusión del estudio preliminar, debe presentarse el informe preliminar y, a la conclusión del proyecto definitivo, la memoria técnica con sus documentos anexos, la memoria, el resumen y las especificaciones técnicas de construcción.

Disposiciones Específicas

La guía para la elaboración del término de referencia para la construcción del estudio y diseño del sistema de abastecimiento de agua y disposición de desechos líquidos debe incluir el contenido básico del informe preliminar, así como el contenido de la memoria técnica del proyecto definitivo.

Actividades y estudios complementarios

La memoria y la técnica, junto con los documentos adjuntos, se presentarán en papel blanco tamaño INEN A4. Pueden crear cuadros o diagramas diferentes a los que se incluyen en estos documentos, pero deben doblarse al tamaño A4. Los cálculos se presentarán en papel INEN A1.

Los dibujos deben usar las siguientes escalas:

Mapas topográficos y planos de la zona que intervienen en el proyecto 1: 25000 y 1: 10000.

- Los planos de las comunidades 1:5000 y 1: 2000.
- Planos y proyectos en escala grande 1:1000 y 1:500.
- Planos arquitectónicos y estructurales 1:100 y 1:50.

- Detalles 1:10; 1:5; 1:2 y 1:1.
- Será diez veces mayor para perfiles de escala vertical que para perfiles de escala horizontal.
- Los planos tienen leyendas en castellano y sus dimensiones se expresan en unidades del sistema internacional SI. Según las normas INEN 1 e INEN 2.

En la guía para elaborar términos de referencia para la contratación de una consultoría para la ejecución de estudios de evaluación, diagnóstico y diseños definitivos de sistemas de alcantarillado sanitario en la zona urbana y rural explica lo siguiente a las poblaciones rurales (Ministerio del Ambiente, 2025).

El documento se tendrá que conformar por: antecedentes, justificativos, objeto de la consultoría, objetivo general, objetivos específicos, información del área del proyecto, en donde se tendrá que explicar el alcance de la consultoría, la metodología, etapas de ejecución y actividades. Aquí, la fase 1 prefactibilidad y factibilidad, recopilación y análisis de la información existente, información básica sobre el proyecto, recopilación, evaluación y diagnóstico de los sistemas existentes, y estudios del cuerpo receptor.

Urbana – Norma Co 10.7 - 601

Objeto

Estas normas establecen los estándares fundamentales para la presentación de proyectos de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en Ecuador, así como los componentes de la documentación correspondientes. Esta norma fue emitida por el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS) en el Registro Oficial No. 6, del 18 de agosto de 1992, y define las especificaciones para el diseño urbano de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), 1992).

Alcance

Los diseños de sistemas de agua potable, alcantarillado, potabilización y depuración de aguas residuales están sujetos a las presentes disposiciones.

Definiciones

a. Memoria Técnica: este es un documento técnico que contiene todos los datos de campo, información preliminar, resultados de trabajos refu-

tados, sugerencias y conclusiones del estudio. Los anexos, esquemas, planos y otros documentos necesarios para completar el proyecto están incluidos en la memoria.

b. Memoria para ejecutivos: este es un resumen de la memoria técnica utilizando un lenguaje y un estilo que sean comprensible para el personal administrativo que no tenga preparación técnica. Esta memoria debe incluir una descripción genera del estudio, el costo del proyecto y las conclusiones y recomendaciones generales.

Disposiciones generales

Se creará una memoria que contenga los datos realizados, las sugerencias y los hallazgos del estudio para presentar las diferentes etapas de un proyecto. Y se adjuntarán cualquier anexo que el diseñador sea necesario.

Disposiciones específicas

En general, la memoria del estudio de prefactibilidad incluye los siguientes elementos:

Recopilación de datos de los sistemas de servicios actuales y resumen de las características de la comunidad.

a. Fundamentos del diseño
b. Describa las opciones viables y sus componentes constructivos
c. Los resultados de los pronósticos
d. Presupuestos estimados de costos de construcción y producción. El valor presente total de cada alternativa o los costos anuales equivalentes
e. Conclusiones y sugerencias del estudio
f. Diagramas, cuadros y cálculos realizados
g. Anexos: copias de los borradores de cálculo, si es necesario
h. Recordatorio para ejecutivos

La memoria del estudio de factibilidad incluirá en general los siguientes temas:

a. Un resumen de las características y los sistemas de la comunidad existentes
b. Estrategias detalladas para los sistemas actuales

c. Los resultados de los diseños iniciales
d. Una descripción detallada de las opciones analizadas y sus componentes constitutivos
e. Un resumen del presupuesto de cada alternativa para cada parte del sistema. Compara los costos anuales equivalentes o el valor actual total de cada opción.
f. La justificación técnica de la opción elegida
g. Recomendaciones y resultados
h. Demostrar la viabilidad económica y financiera de la recuperación del capital de la opción elegida
i. Anexos: libretas de campo, estudios de suelos, borradores de cálculo, si es necesario, etc.
j. Recordatorio para ejecutivo

La memoria técnica debe incluir lo siguiente:

a. Un resumen de los aspectos de la comunidad, los sistemas existentes y la cantidad de conexiones.
b. Los planes detallados para los sistemas actuales están disponibles.
c. El origen del proyecto.
d. Descripción detallada del proyecto.
e. Resumen del proyecto, incluidas las conclusiones y sugerencias.

En los datos generales se incluirá los siguientes puntos:

a. Duración del diseño
b. La población actual
c. La población estimada para el futuro
d. La población que se mueve
e. Un área que será útil para el proyecto
f. La dotación actual
g. Dotación para el futuro

En las características del Agua Potable se incluirá lo siguiente:

a. El coeficiente de consumo máximo en un día determinado
b. El coeficiente de hora de consumo máximo
c. Cualidades de la fuente (captación)
d. La calidad física, química y microbiológica del agua cruda, incluido un análisis detallado
e. El caudal de la fuente máximo, mínimo y seguro
f. El sistema de transmisión (gravedad o por bombeo)
g. El tipo de unidades de tratamiento, los equipos y los productos químicos
h. El costo del proyecto de la planta
i. El volumen de agua filtrada para uso interno y de la planta
j. La cantidad de incendios provocados por un hidrante
k. El número de hidrantes en simultáneo
l. La duración del fuego en horas
m. La cantidad de regulación
n. El volumen de agua necesario para los incendios
o. El volumen de la situación de emergencia
p. El tamaño total
q. Las tensiones máximas y mínimas en la red
r. Presión constante en la red
s. Las longitudes de las tuberías de la red organizadas según sus diámetros
t. El número y el tipo de conexiones de casa clasificados por diámetro
u. La capacidad de las estaciones de bombeo y la curva del sistema

Y para la eliminación de aguas residuales se incluirá lo siguiente:

a. El coeficiente de mayoría
b. Tendencias en la intensidad, la frecuencia y la duración de las lluvias
c. Las curvas de variación entre intensidad y área

d. El tiempo inicial de concentración
e. Coeficientes de flujo
f. La velocidad más alta
g. La velocidad más baja.
h. Las longitudes de las tuberías, colectores y emisarios de la red se clasifican por diámetro y sección
i. La cantidad y el tipo de conexiones domiciliarias organizadas según sus diámetros
j. La cantidad de aguas residuales que fluyen
k. El caudal de evacuación total (máximo, medio y mínimo)
l. El tipo, las unidades de tratamiento, los equipos y las sustancias químicas
m. El cuerpo receptor tiene el gasto máximo, mínimo y seguro
n. El flujo de las estaciones de bombeo y la curva del sistema
o. Sistema de elevación
p. El tiempo de bombeo por día
q. Lista de materiales, equipos y trabajos
r. Presupuesto para el proyecto de construcción
s. Estudio financiero y facturación
t. Las especificaciones técnicas para los materiales, los equipos y las herramientas
u. Especificaciones técnicas para la construcción
v. Instrucciones de operación y mantenimiento
w. Propuestas detalladas para la construcción
x. Documentos de licitación (si es aplicable)
y. Anexos: cálculos estructurales; estudios de suelos; copias de los borradores de cálculo, si es necesario.
z. Recordatorio para ejecutivos

El orden de presentación de los planos será:

a. Planos generales: portada, índice de planos y esquema del proyecto
b. Mapas topográficos
c. Planos de asistencia hidráulica y sanitaria
d. Planos de arquitectura
e. Planos de estructura
f. Planos de energía eléctrica
g. Planos de instalación
h. Planos alternativos

Todas las piezas especiales y accesorios se numerarán dentro de un círculo en los planos de detalle, con la lista correspondiente en la parte superior derecha de la lámina.

Todo plano revisado que necesite una corrección mantendrá el mismo número de la lámina original, junto con una letra que lo identifique; además, las modificaciones mencionadas.

Las escalas que se deben usar en los dibujos:

a. Para mapas topográficos y planos de áreas grandes, se requieren 1100000, 500.000, 250.000 y 125.000.
b. Los valores para los planos de áreas urbanas son de 1:50000; 1:25000; 1:12500; 1:10000; y 1:5000.
c. Para planos y proyectos de gran tamaño, se utilizan las siguientes escalas: 1:2500, 1:2000, 1:1000 y 1:500. La escala vertical en perfiles será diez veces mayor que la escala horizontal.
d. Los formatos disponibles para bocetos y planos preliminares son de 1:500, 1:200 y 1:100.
e. Los formatos disponibles son de 1:200, 1:100 y 1:50 para planos de estructuras y edificios.
f. Para dibujos grandes y detallados, 1:20 y 1:10.
g. Para más información, 1:10; 1:5; 1:2; 1:1.

En la presentación de los planos, estos deben contener sus leyendas en castellano y las dimensiones deben estar expresadas en unidades, múltiplos y submúltiplos del sistema internacional (SI), tal como se indica en las normas INEN 1 y 2. El tamaño de las tarjetas está determinado por la norma INEN.

4.2. Bases o parámetros de diseño de proyectos de agua potable y alcantarillado

Para elaborar un proyecto, se debe analizar con detenimiento la definición y magnitud de los parámetros de diseño para no generar obras sobredimensionadas o deficientes que representen inversiones inadecuadas, considerando que deben satisfacer las necesidades actuales de la población y la futura. Las bases de diseño son definidas de distinta forma para una población rural que para una población urbana debido a que la calidad de vida es diferente (EPMAPS, 2025).

Nivel de Servicio

La cantidad de agua captada y usada por el ser humano tiene una influencia importante en su propia salud. Beber agua es una necesidad fisiológica básica para que el organismo mantenga una hidratación adecuada. La OMS asume que cada persona adulta consume aproximadamente 2 litros de agua diarios, pero el consumo efectivo varía de acuerdo con el clima, el nivel de actividad y la alimentación. Datos actuales estiman 7.5 litros de agua se consume por persona para beber y adicionar a los alimentos, para obtener el consumo efectivo hay que considerar el agua que se usa preparar los alimentos, lavado de ropa, higiene personal y doméstica, y actividades adicionales como la generación de ingresos o recreación (World Health Organization, 2022).

En términos generales el nivel de servicio es el grado de facilidad y comodidad con el que los usuarios acceden al servicio que les brindan los sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas o residuos líquidos (SAPYSB). El criterio para el nivel de servicio según la OMS está definido para población rural y urbana que esta textualizada de la SAPYBS como se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15

Niveles de servicio y cantidad de agua de acuerdo a la OMS

NIVEL DE SERVICIO Y CANTIDAD DE AGUA RECOLECTADA				
Nivel de servicio	**Distancia/ tiempo**	**Volúmenes probables de agua captada**	**Riesgo para la salud pública debido a una higiene deficiente**	**Prioridad de intervención y medidas**
Sin acceso	Más de 1 km / más de 30 min ida y vuelta	Muy bajo: 5 litros per cápita por día	**Muy alto** Práctica de higiene comprometida El consumo básico puede estar comprometido	**Muy alta** Suministro del nivel básico de servicio Educación sanitaria Tratamiento y almacenamiento seguro de agua a nivel domiciliario como una medida provisional
Acceso básico	En 1 km / en 30 min ida y vuelta	Promedio aproximado de 20 litros per cápita por día	**Alto** La higiene puede estar comprometida La ropa puede lavarse fuera de la parcela	**Alta** Suministro del nivel de servicio mejorado Educación sanitaria Tratamiento y almacenamiento seguro de agua a nivel domiciliario como una medida provisional
Acceso intermedio	Agua suministrada en la parcela mediante al menos un grifo como mínimo (suministro en el patio)	Promedio aproximado de 50 litros per cápita por día	**Bajo** La higiene no debería estar comprometida Es probable que la ropa se lave en la parcela	**Baja** La promoción de la higiene sigue generando beneficios para la salud Fomento del acceso óptimo
Acceso óptimo	Suministro de agua a través de múltiples grifos en la vivienda	Promedio de 100– 200 litros per cápita por día	**Muy bajo** La higiene no debería estar comprometida La ropa se lava en la parcela	**Muy baja** La promoción de la higiene sigue generando beneficios para la salud

Nota. Obtenido de (SAPYSB, 2014)

La Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento, (1992) solo define el nivel de servicio para la población rural como se muestra en la Tabla 16, para la población urbana no hay información porque supone que se tiene el acceso óptimo como lo menciona la OMS.

Tabla 16

Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos.

NIVEL	SISTEMA	DESCRIPCIÓN
0	AP1 EE	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo con las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económica del usuario
Ia	AP EE	Grifos públicos Letrinas sin arrastre de agua
Ib	AP EE	Glifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño Letrinas sin arrastre de agua
IIa	AP EE	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa Letrinas con o sin arrastre de agua
IIb	AP ERL	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa Sistema de alcantarillado sanitario

Nota. AP.- Agua potable. EE: Eliminación de excretas. EER: Eliminación de residuos líquidos. Obtenida de (Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento, 1992).

El nivel de servicio o cantidad de agua que se le puede dar a una población depende de las características de los usuarios según la confiabilidad del sistema, difícilmente será el óptimo, en Ecuador siempre dependerá de la oferta, la demanda y la capacidad económica de los GAD cantonales.

Las recomendaciones de la OMS, como acceso óptimo al agua, presentan un rango, entre 100 a 200 L/hab-día, es decir, 150 L/hab-día tendría que ser el valor recomendado.

En la Tabla 17 se presentan las dotaciones de agua potable en las ciudades de la región (Auquilla-Orellana, 2020).

Tabla 17

Dotaciones de las ciudades de la región

País	Dotación L/hab-día	Dotación Promedio L/hab-día
Ecuador	237	170.83
Costa Rica	212	
Brasil	202	
Uruguay	106	
Colombia	150	
Perú	118	

Ecuador consume o desperdicia más del 40% de la media regional en lo que respecta al agua potable.

Ejercicio de aplicación

Se necesita mejorar la calidad de vida de una población de Manabí de 500 habitantes que camina 2 kilómetros todos los días para obtener agua. El presupuesto del GAD alcanza para un tanque y un vehículo con una bomba que puede ir al lugar cada 7 días. ¿Qué capacidad debe tener el tanque?

1. Nivel de servicio

De acuerdo a (World Health Organization, 2022), se clasifica esa población sin Acceso, es decir:

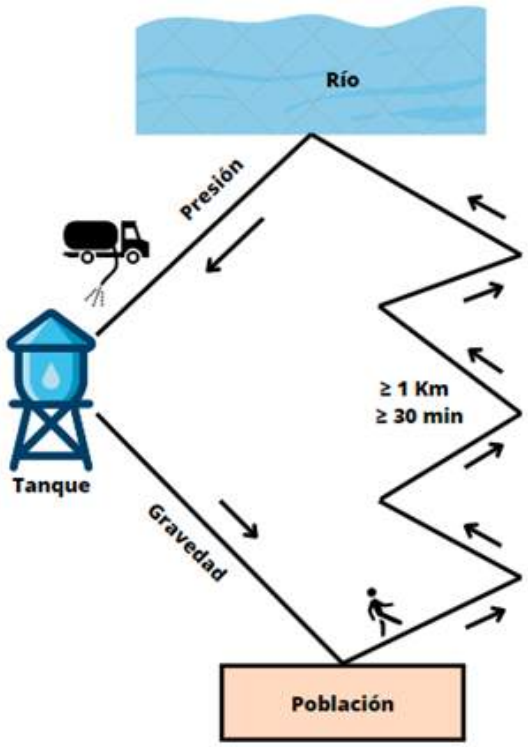
$$\text{Dotación} = 5\,\frac{L}{hab-día}$$

$$Volumen = 5[l/(hab - dia)] * 500[hab] * 7[dia] = 17{,}5[m^3]$$

Solución: La capacidad mínima que debe tener el tanque es de 17,5 metros cúbicos y debe llenarse cada 7 días. El riesgo para la salud pública es muy alto, se debe tener un programa de higiene, la prioridad de intervención es muy alta, se debe tener un programa de manejo del agua, en la Figura 47 se presenta un esquema del nivel de servicio sin acceso aplicado a la población de estudio.

Figura 47

Esquema del nivel de servicio sin acceso

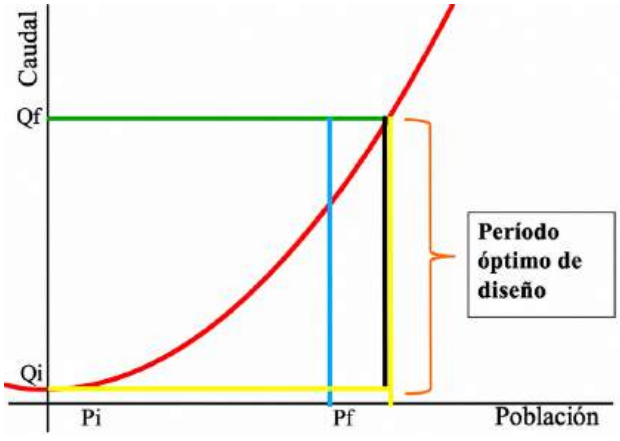


Periodo óptimo de diseño

En la Figura 48 se presenta el gráfico típico de oferta y demanda de un proyecto de agua potable y alcantarillado, el tiempo, en donde se mantiene el equilibrio, la totalidad de su rendimiento técnico y económico, es el período óptimo de diseño, es decir, el tiempo de funcionamiento de los elementos de una obra de infraestructura donde cubrirá su demanda normalmente sin necesidad de ampliaciones, al menor costo posible (CONAGUA, 2019a).

Figura 48

Periodo óptimo de diseño



El tiempo para el cual una obra debería funcionar cumpliendo todos los parámetros para los que fue diseñada se conoce como tiempo de vida útil, donde no deberían presentarse gastos muy considerables en operación o mantenimiento que hagan su uso inviable económicamente. En la Tabla 18 se presentan la vida útil de los principales componentes de proyectos de agua potable y alcantarillado (CONAGUA, 2019a).

Tabla 18

Vida útil de elementos de un sistema de agua potable y alcantarillado

Elemento	Vida útil (Años)
Pozo:	
Obra civil	de 10 a 30
Equipo electromecánico	de 8 a 20
Línea de conducción	de 30 a 40
Planta potabilizadora:	
Obra civil	40
Equipo electromecánico	de 15 a 20
Estación de bombeo:	
Obra civil	40
Equipo electromecánico	de 8 a 20
Tanque:	
Elevado	20
Superficial	40
Red de distribución primaria	de 20 a 40
Red de distribución secundaria	de 15 a 30
Red de atarjeas	de 15 a 30
Colector y emisor	de 20 a 40
Planta de tratamiento	
Obra civil	40
Equipo electromecánico	de 15 a 20

Es necesario diferenciar la vida útil del periodo óptimo de diseño, puesto que la vida útil siempre será mayor al periodo de diseño, exceptuando en los equipos electromecánicos, estos vienen determinados por el fabricante y deben tener un mantenimiento constante y cambios de piezas especiales.

Periodo óptimo de diseño para poblaciones rurales

La construcción de sistemas de agua potable y la disposición de excretas se diseñarán para un periodo de 20 años. Y la vida útil de los equipos será

especificada por los fabricantes, por lo que se adoptará un periodo de diseño distinto para cada caso. Un periodo de diseño diferente al de 20 años se podrá determinar solo en situaciones especiales, pero jamás, la población futura será mayor que 1.25 veces la población presente (Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento, 1992).

Ejercicio de aplicación

Calcular el período óptimo de diseño de un proyecto de agua potable para una población rural de Manabí de 500 habitantes.

1. Según la (Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento, 1992), el periodo óptimo de diseño es de 20 años, sin considerar, que la población futura no supere 1.25 veces la población actual. Por consiguiente, es necesario calcular la población futura de acuerdo con el método geométrico para zonas rurales.

$$P_f = P_a(1+r)^n$$

En donde:

Pf = Población futura o de diseño en habitantes.

Pa = Población actual que sale del censo sanitario en habitantes

r = Tasa de crecimiento geométrico de la población en porcentaje

n = Periodo óptimo de diseño en años

En el caso que no se encuentre información de censos previos para obtener r, la tasa de crecimiento, se puede adoptar del 1% para la sierra, y para la costa, oriente y galápagos, el 1.5% (Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento, 1992).

$$r = 1.5\%$$

$$P_f = 500(1+0.015)^{20} = 673[hab]$$

2. Ahora se compara con la condición de 1.25 veces la población actual.

$$P_f = 1.25P_a = 1.25 * 500 = 625[hab]$$

3. No cumple la condición puesto que la población futura para un periodo de diseño de 20 años es de 673 habitantes excede a los 625 habitantes que es el 1.25 veces la población actual.

En este caso, se procede a despejar el periodo óptimo de diseño de la fórmula del método geométrico y así se obtiene:

$$n = \log_{1+r} {}^{P_f}/_{P_a}$$

$$n = \log_{1+0.015} {}^{625}/_{500} = 14.99\ [años]$$

Solución: En este caso el periodo óptimo de diseño obtenido es de 15 años.

Nota: El periodo óptimo de diseño no puede ser menor a 15 años en zonas rurales, porque se vuelve inviable, es decir, muy caro el proyecto. El periodo óptimo de diseño para poblaciones rurales debe estar entre 15 y 20 años. Se debe realizar un estudio exhaustivo para determinar si el proyecto es rentable.

Período óptimo de diseño para poblaciones Urbanas

En la normativa de Ecuador no existe información para el periodo óptimo de diseño para Agua Potable en zonas Urbanas (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), 1992). Sin embargo, existe para el alcantarillado.

El período óptimo de diseño depende del sistema financiero y económico del país. Se recomienda diseñar el proyecto en no más de tres etapas y que su período óptimo de diseño no sea menor a los 15 años, si no se toma en cuenta estas consideraciones el proyecto se vuelve muy caro (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), 1992).

Ejercicio de aplicación

Parte 1 del ejercicio: Calcular el período óptimo de diseño de un alcantarillado sanitario, si el préstamo del organismo colateral es del 8%.

De acuerdo con (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), 1992) se tiene el periodo óptimo de diseño para alcantarillados a partir de la ecuación 6.

$$x = \frac{2.6(1-a)^{1.12}}{R} \qquad (6)$$

Donde:

x: Período óptimo de diseño

a: Factor de economía de escala

- colectores= 0.43
- estación de bombeo= 0.75
- PTAR secundaria= 0.88

R: Interés del préstamo del organismo colateral.

1. ***Periodo óptimo de diseño para colectores***

$$x = \frac{2.6(1 - 0.43)^{1.12}}{0.08} = 18 \approx 20[años]$$

2. ***Periodo óptimo de diseño para estaciones de bombeo***

$$x = \frac{2.6(1 - 0.75)^{1.12}}{0.08} = 7 \approx 10[años]$$

3. ***Periodo óptimo de diseño para una PTAR secundaria***

$$x = \frac{2.6(1 - 0.88)^{1.12}}{0.08} = 3 \approx 5[años]$$

Solución: El período siempre se escribe en múltiplos de 5 años y en números redondos. Mientras menor es el tiempo del periodo óptimo de diseño, es más costoso, y la recuperación de la inversión es más complicada.

Parte 2 del ejercicio: Calcular el período óptimo de diseño de un proyecto de agua potable si el préstamo del colateral fue del 8% y el periodo de déficit inicial de otro proyecto similar fue de 7.1 años. Se utiliza la expresión que recomienda (CONAGUA, 2019h), la ecuación 7.

$$x_0 = \frac{2.6(1 - a)^{1.12}}{R} + \frac{0.3(1 - a){x_0}^{0.85}}{R^{0.5}} \qquad (7)$$

Donde

a: Factor de escala de economía para sistemas de redes de distribución (en que la mayor parte de la inversión corresponde a la tubería). Se considera un valor de 0,5 a 0,6.

Xo: Es el periodo de déficit inicial en años y se obtienen comparando la oferta actual de agua con la demanda proyectada en el tiempo, obtenido de cruzar la curva de demanda con la oferta actual (Ryu & Lee, 2024).

Xo': Período óptimo de diseño en años.

$$x_0' = \frac{2.6(1-0.55)^{1.12}}{0.08} + \frac{0.3(1-0.55)[7.1]^{0.85}}{0.08^{0.5}} = 16 \approx 20[años]$$

En este caso se obtuvo un período óptimo de diseño de 16 años que se lleva a 20 años debido a que se lo escribe en múltiplos de 5 y no puede ser menor al obtenido.

Período Óptimo de Diseño de acuerdo al MAPAS de CONAGUA de México

Para definir el período de diseño de una obra o proyecto se recomienda, en primer lugar, realizar un proyecto de inversión, detallado en el libro 2 del MAPAS de CONAGUA de México (CONAGUA, 2019g).

Asimismo, en el libro 4 del MAPAS de CONAGUA explica el siguiente procedimiento para obtener el periodo óptimo de diseño (CONAGUA, 2019a).

1. Hacer un listado de todas las estructuras, equipos y accesorios más relevantes dentro del funcionamiento y operación del proyecto.
2. Con base al listado anterior, determinar la vida útil de cada elemento del proyecto, según la Tabla 19.
3. Definir el período de diseño de acuerdo con las recomendaciones de la Tabla 19 y a la consulta del estudio de factibilidad, que se haya elaborado en la localidad.
4. Especificar si en alguno de sus componentes será necesario hacer reinversiones para homologar el periodo de diseño del proyecto

Las obras de captación y conducciones, como presas y acueductos, se recomiendan que tengan un periodo de diseño de entre 20 y 30 años, por otro lado, la infraestructura como redes de agua potable y alcantarillado se recomiendan tengan periodos de diseño entre 10 y 20 años.

Se puede considerar un periodo de diseño de 20 años para la infraestructura que puede ser modular como plantas de potabilización y de tratamiento,

pero considerando, de ser el caso, el crecimiento modular de sus componentes (CONAGUA, 2019a).

Tabla 19

Vida útil de elementos de un sistema de agua potable y alcantarillado

Elemento	Vida útil (años)
Pozo:	
Obra civil	De 10 a 30
Equipo electromecánico	De 8 a 20
Línea de conducción	De 30 a 40
Planta potabilizadora	
Obra civil	40
Equipo electromecánico	De 15 a 20
Estación de bombeo	
Obra civil	40
Equipo electromecánico	De 8 a 20
Tanque	
Elevado	20
Superficial	40
Red de distribución primaria	De 20 a 40
Red de atarjeas	De 15 a 30
Colector y emisor	De 20 a 40
Planta de tratamiento	
Obra civil	40
Equipo electromecánico	De 15 a 20

En la Tabla 20 se presentan los periodos de diseño de los principales elementos que conforman los proyectos de agua potable y alcantarillado (CONAGUA, 2019a).

Tabla 20

Periodo de diseño para elementos de sistemas de agua potable y alcantarillado según CONAGUA

Elemento	Periodos de diseño (años)
Fuente:	De 10 hasta 50
Pozo	De 10 a 20 años
Embalse (presa)	Hasta 50 años
Línea de conducción	De 20 a 30
Planta potabilizadora	De 10 a 20 (más crecimiento modular)
Estación de bombeo	de 10 a 20 (más crecimiento modular)
Tanque Distribución primaria	De 10 a 20 años
Distribución secundaria	De 10 a 20 años
Red de atarjeas	Estará en función de la saturación
Colector y emisor	Estará en función de la saturación
Planta de tratamiento	de 10 a 20 (más crecimiento modular)

Período Óptimo de Diseño de varias ciudades de la región

Para la normativa de Colombia, la definición del período de diseño, para los sistemas de acueducto y alcantarillado no responde a un número fijo de años, sino a un análisis integral que combine las proyecciones de crecimiento poblacional, el estado actual de la infraestructura y la evolución esperada de la demanda. El reglamento indica que la planificación debe anticipar las condiciones futuras del servicio mediante diagnósticos técnicos y socioeconómicos, revisión de capacidades del sistema y evaluación de necesidades de ampliación (Arts. 8–12). Esto implica que cada proyecto determine su horizonte óptimo en función de la vida útil de los componentes, la sostenibilidad operativa y los cambios previstos en consumos y cargas, garantizando que las soluciones adoptadas mantengan su desempeño a lo largo del ciclo de servicio esperado, sin embargo, no se menciona un rango de años (Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009, 2017).

En la Tabla 21 se encuentran los diferentes periodos óptimos de diseños de algunas ciudades de la región.

Tabla 21

Periodos óptimos de diseño de algunas ciudades de la región

Ciudad	Periodo óptimo de diseño en años			Referencia
	Agua Potable	Alcantarillado sanitario	Alcantarillado Pluvial	
Quito	25	30	30	(Normas de Diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009)
Guayaquil	20	30 a 50	30 a 50	(Normas y especificaciones técnicas para los sistemas de agua potable y alcantarillado, 2024)
Cuenca	25	30	20 a 30	(Carta de viabilidad técnica ETAPA, 2017)
Rumiñahui	25	30	25	(Lliguin-Naranjo & Tinoco-Cuenca, 2022)
Bogotá	15 a 30	20 a 30	10 a 25	(Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009, 2017)

Lima	20 a 30	10 a 15	10 a 25	(Abastecimiento de agua y saneamiento para poblaciones rurales y urbano-marginales norma técnica, 1994)

Con las tecnologías actuales de medición en tiempo real mediante sensores IoT, todos los GAD deberían tener sus propios parámetros de diseño; más aún, cuando están involucrados los costos de inversión, adoptar de otras ciudades, con otras realidades, puede encarecer los proyectos. En los GAD pequeños del Ecuador, por lo general, adoptan los parámetros de diseño de Quito.

Población de diseño

La población de diseño es la cantidad de habitantes que se proyecta para un sistema de abastecimiento de agua potable o de alcantarillado sanitario, durante el período de diseño del proyecto. Este período de diseño suele ser de 20 a 30 años, pero puede variar en función de las características del proyecto y de las normas o reglamentos aplicables. La población de diseño se calcula con datos censales disponibles, considerando factores como el crecimiento demográfico, la migración, el desarrollo económico y social, y otros factores que puedan afectar a la población futura (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), 1992).

Una vez calculada la población de diseño, se utiliza para determinar las características del sistema de abastecimiento de agua o de alcantarillado sanitario, como la capacidad de las tuberías, los reservorios, las plantas de tratamiento, etc. En el caso del abastecimiento de agua potable, se utiliza para determinar el caudal necesario para satisfacer la demanda de la población, considerando usos domésticos, industriales y comerciales. En el caso del alcantarillado sanitario, la población de diseño se utiliza para determinar el caudal de aguas residuales que se deben recolectar y tratar, teniendo en cuenta los usos domésticos, industriales y comerciales (CONAGUA, 2019a).

Dinámica poblacional a nivel planetario

Durante los últimos años la dinámica poblacional, la demografía mundial, ha mostrado cambios notables, no obstante, la población global continúa au-

mentando, lo hace a un ritmo cada vez más lento, desde que se tienen datos. En muchas regiones, especialmente en países de ingreso medio y alto, las tasas de natalidad han caído de manera sostenida debido a transformaciones sociales como el acceso más amplio a la educación, la participación laboral de las mujeres, el uso de métodos anticonceptivos y el retraso de la maternidad. Por otro lado, varias naciones de África y algunas zonas del sur de Asia aún mantienen fecundidades más altas, lo que contribuye en gran medida al crecimiento total del planeta. El resultado es un escenario desigual, en el que conviven países que se acercan al estancamiento poblacional o incluso al envejecimiento acelerado, mientras otros continúan expandiéndose rápidamente. A nivel global, la población aún crece, pero el descenso progresivo de la fecundidad apunta a que este incremento será cada vez menor en las próximas décadas (UNFPA, 2018). En la Figura 49, se presenta la dinámica poblacional, de acuerdo con los estudios realizados en el año 2018 por la United Nations Population Fund (UNFPA).

Figura 49

El poder de decidir dinámica poblacional mundial (UNFPA, 2018).



El Ecuador se encuentra en la zona en donde la fecundidad se estabilizó y en algunos casos probablemente puede aumentar.

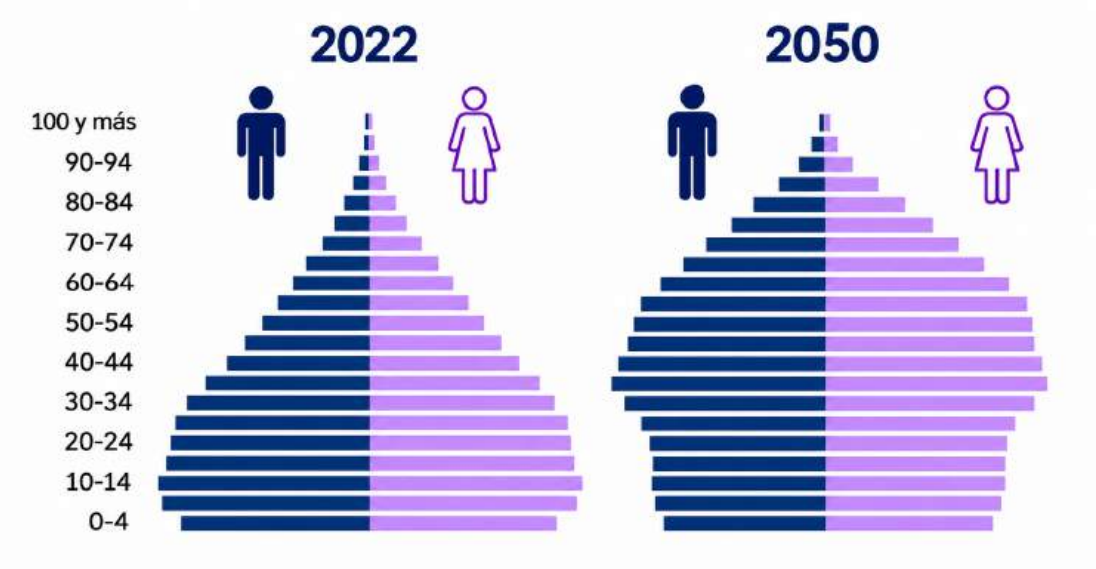
Dinámica poblacional en el Ecuador

En el Ecuador, la entidad encargada de los estudios poblacionales es el Instituto Nacional Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC), organismo que ejecutó, hasta el momento, 8 censos de población en los años: 1951, 1962, 1974, 1982, 1990, 2001, 2010, y 2022, en donde, se ha determinado su dinámica poblacional (INEC, 2025).

La pirámide poblacional es una representación gráfica de la distribución de la población por edad y sexo como se muestra en la Figura 50 (INEC, 2025). Esta representación se utiliza para estimar la demanda de agua potable y de alcantarillado sanitario, teniendo en cuenta los distintos hábitos y necesidades de consumo de las franjas etarias. La pirámide poblacional ecuatoriana se caracteriza por una base ancha y una punta estrecha. Esto significa que la población ecuatoriana es joven, con una alta proporción de niños y jóvenes, se le conoce como bono poblacional (INEC, 2025).

Figura 50

Pirámide poblacional del Ecuador (INEC, 2024).

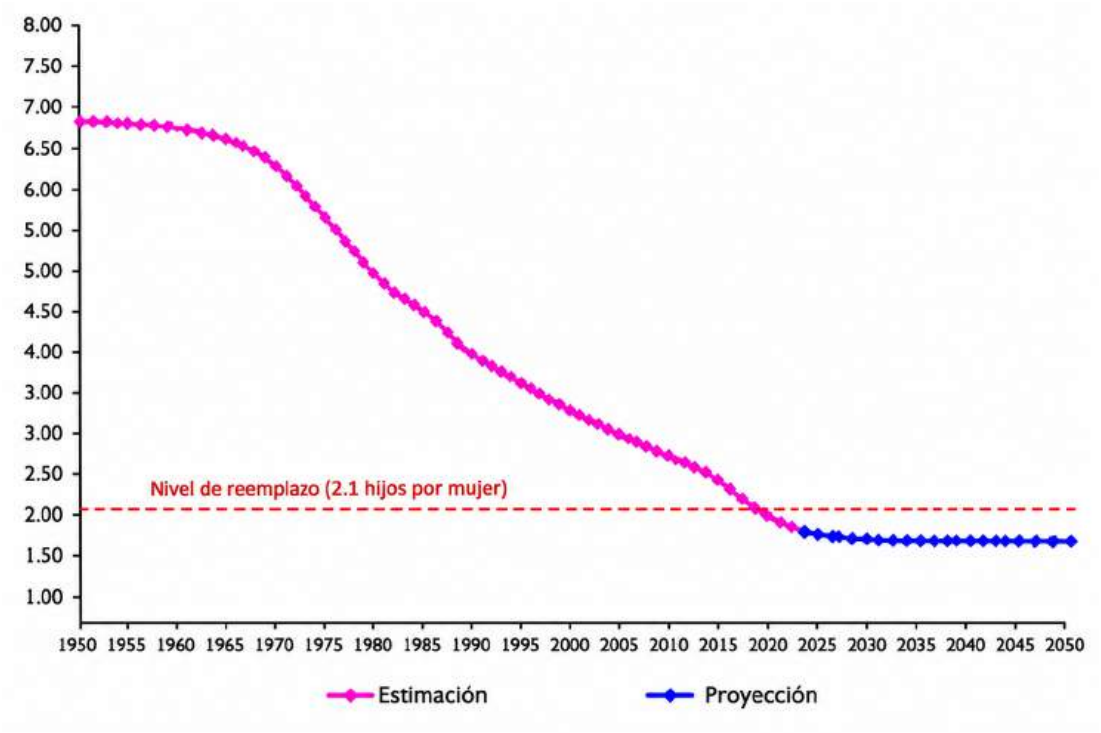


El bono poblacional se refiere al periodo en el que un país alcanza una estructura demográfica favorable, caracterizada por una alta proporción de personas en edad de trabajar frente a la población dependiente como infantes y de la tercera edad. Esta configuración abre una ventana de oportunidad para acelerar el crecimiento económico, siempre que existan políticas capaces de transformar esa fuerza laboral en productividad sostenible. Investigaciones recientes destacan que este fenómeno no garantiza beneficios automáticos; más bien exige inversión en educación, empleo de calidad y salud para convertir la dinámica demográfica en desarrollo real (Brakman et al., 2025).

En el Ecuador en el año 2016, la tasa de natalidad bajó el umbral de 2.1 hijos por mujer, que se denomina tasa de reposición o reemplazo, son problemas serios que afrontará el país si no se toman decisiones políticas para revertirlo, (Figura 51).

Figura 51

Estimaciones y proyecciones del Ecuador según (INEC, 2024).



En el año 1950 se tenía en el Ecuador 3.5 millones de habitantes y se proyecta que en el año 2050 se tendrá 21.5 millones de habitantes. La pirámide poblacional en el año 2050 será más angosta porque la tasa de natalidad se está reduciendo y la esperanza de vida se está incrementando (INEC, 2024).

Variables que conforman la población de diseño

La población de diseño es un parámetro fundamental para planificar nuevos proyectos de agua potable y alcantarillado, o para su repotenciación en algunos casos. Para obtener información sobre la población de determinadas comunidades o regiones en un momento dado, los ingenieros recurren a los registros de los censos o enumeraciones oficiales. Con esta información se puede determinar la capacidad máxima del sistema para cumplir la demanda de las personas a lo largo de su vida útil. Para realizar este cálculo se considera la población fija (residentes permanentes), la población flotante (visitantes temporales) y la población de saturación (capacidad máxima del sistema) (L. K. Wang et al., 2016).

Algunos parámetros o métodos importantes para considerar dentro del cálculo de población de diseño son la obtención de información, el crecimiento

demográfico, conocer la diferencia y utilidad para estimaciones a corto y largo plazo. Los métodos simplificados de estimación demográfica y la distribución de la población por densidad de área (L. K. Wang et al., 2016).

Población fija

La población fija en el abastecimiento de agua se refiere a la cantidad de personas que dependen de un sistema de abastecimiento de agua específico para sus necesidades diarias de agua. Esta población puede incluir tanto a personas que viven en el área de servicio del sistema como a personas que se encuentran en tránsito. Para diseñar un sistema de alcantarillado o cuantificar uno en operación es fundamental conocer la población fija a la que beneficiará esta obra, ya que se debe satisfacer la demanda mínima con su capacidad diseñada (Tan et al., 2023).

Población Flotante

La población flotante en el abastecimiento de agua se refiere a la cantidad de personas que no residen de forma permanente en el área de servicio de un sistema de abastecimiento de agua. Esta población puede incluir a turistas, trabajadores temporales, estudiantes, personas sin hogar y otros. La población flotante puede afectar el abastecimiento de agua de varias maneras. En primer lugar, puede aumentar la demanda de agua. En segundo lugar, puede dificultar la planificación del abastecimiento de agua. En tercer lugar, puede aumentar el riesgo de contaminación del agua (Rao et al., 2023).

Población de Saturación

Es la capacidad máxima de un sistema de abastecimiento de agua y alcantarillado para atender a las necesidades de una población. Es decir, es el número máximo de personas que un sistema determinado puede abastecer de agua potable de manera sostenible y con un nivel de servicio determinado. Es el límite operativo sostenible que resulta de la interacción entre infraestructura, disponibilidad de fuente, tratamiento, almacenamiento, energía y desempeño hidráulico bajo un nivel de servicio explícito (continuidad, presión mínima, calidad y confiabilidad). En la práctica, esa capacidad se verifica comparando escenarios de demanda media y de punta (incluyendo estacionalidad y crecimiento), contra restricciones técnicas (caudales máximos en aducciones y redes, pérdidas reales, presiones admisibles, reservas de almacenamiento y redundancias) y restricciones de gestión en mantenimiento, control de fugas, operación de bombas, y respuesta ante fallas del sistema (Tomić et al., 2024).

Métodos tradicionales para el cálculo de la población de diseño o futura

A lo largo de la planificación y el diseño de los sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento, la estimación adecuada de la población de diseño constituye un elemento técnico fundamental para garantizar la eficiencia, la sostenibilidad y la continuidad del servicio. Los métodos tradicionales para el cálculo de la población de diseño se han desarrollado a partir de enfoques demográficos y estadísticos que consideran el crecimiento histórico de la población, las tendencias de urbanización y las características socioeconómicas del área de estudio. Estas metodologías, ampliamente utilizadas en la práctica de la ingeniería sanitaria, permiten proyectar la demanda futura de agua con un nivel razonable de confiabilidad, especialmente en contextos donde la disponibilidad de información es limitada. No obstante, su aplicación requiere un análisis crítico de los supuestos adoptados, ya que las dinámicas poblacionales pueden verse influenciadas por factores externos como la migración, el desarrollo territorial y los cambios en los patrones de consumo, aspectos que condicionan directamente la validez de las proyecciones a largo plazo (Liu et al., 2025).

Método Aritmético

La proyección aritmética, dado que se ha empleado durante períodos de aumento demográfico, generalmente se ha utilizado para mostrar este crecimiento en cantidades fijas; este método es un poco más efectivo en poblaciones que siempre están creciendo, pero no considera otros fenómenos importantes. La tasa de crecimiento promedio anual es Ka, se calcula con la ecuación 8, y posteriormente con este dato se puede calcular la población futura, ecuación 9 (Fang et al., 2024).

$$Ka = \frac{(Pf - Pi)}{(Tf - Ti)} \qquad (8)$$

Donde:

Pf= población futura

Pi= población inicial

Tf= año final

Ti= año inicial

Rango de años: Número de años datos obtenidos del censo del INEC.

$$Pf = Pi + [Tf - Ti] * Ka \quad (9)$$

Método Geométrico

Este método se basa en el supuesto de que el porcentaje de crecimiento de la población permanece constante de una década a otra (Kishan Chhapola, 2024). La población se estima en base a la premisa que el porcentaje de crecimiento en la década pasada será igual al porcentaje de crecimiento futuro (Fang et al., 2024). La pendiente de la función se calcula con la ecuación 10 y la población futura con la ecuación 11.

$$Kg = [\left(\frac{Pf}{Pi}\right)^{\frac{1}{rango\ de\ años}}] - 1 \quad (10)$$

$$Pf = Pi * \left[(1 + Kg)^{(Tf - Ti)}\right] \quad (11)$$

Método Exponencial

Este método es más aproximado en relación con los anteriores; de igual manera, considera que la población siempre tiende a crecer. El crecimiento exponencial se refiere a la situación en la que el crecimiento se compone continuamente, en cada instante de tiempo (Mokoma & Tilahun, 2022).

La tasa de crecimiento de la función es Ke y se calcula de acuerdo con la ecuación 12 y el modelo exponencial se obtiene con la ecuación 13.

$$Ke = \left[\frac{ln(Pf) - ln(Pi)}{rango\ de\ años}\right] \quad (12)$$

$$Pf = Pi * \left(e^{Ke(Tf - Ti)}\right) \quad (13)$$

Ejercicio de aplicación del método aritmético, geométrico y exponencial para cálculo de la población de diseño

En el siguiente ejercicio se explica el cálculo de poblaciones futuras con los tres métodos antes mencionados de una parroquial rural de Pangua, Cotopaxi (Tabla 22).

Tabla 22

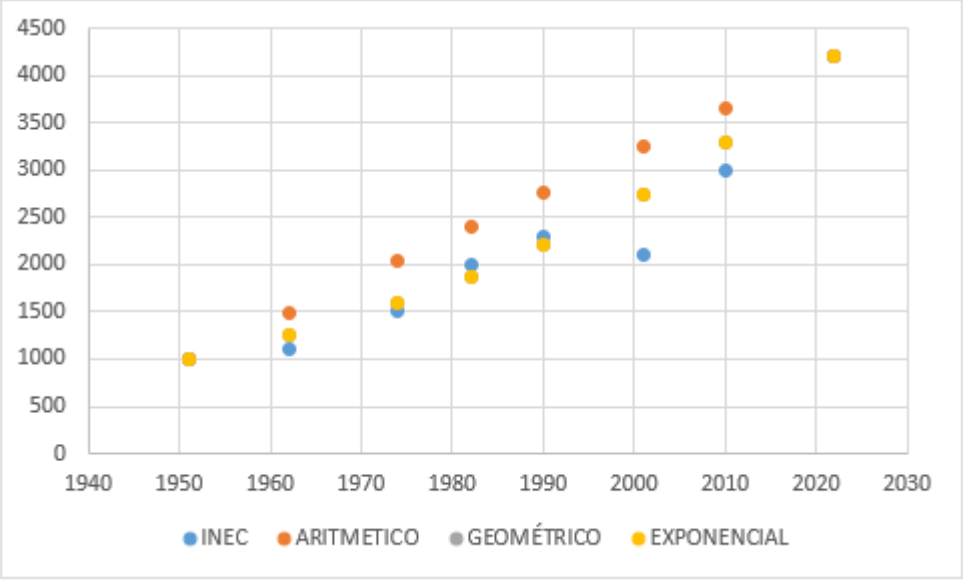
Métodos para el cálculo de la población futura

Año	Población INEC	Aritmético		Geométrico		Exponencial	
		$ka = \frac{(pf - pi)}{(Tf - ti)}$	*Pobl*	*Kg*	*Pobl*	*ke*	*Pobl*
1951	1000	33.898	1000	0.018795	1000	0.018621	1000
1974	1500		2037		1592		1535
1982	2000		2397		1871		1781
1990	2300		2758		2200		2067
2001	2100		3254		2747		2537
2010	3000		3659		3295		3000
2022	4200		4200		4200		3000

Como se puede apreciar el método exponencial se aproxima de mejor manera a los censos levantados por el INEC, pero su margen de error es mucho aún, y no se podría considerar estos datos para realizar un diseño óptimo de proyectos de infraestructura, como lo son los sistemas de agua potable, por ejemplo, ningún modelo refleja el decrecimiento poblacional de los censos del año 1990 al 2001 (Figura 52).

Figura 52

Población futura calculada



Ninguno de los tres métodos explica el decrecimiento poblacional que ocurre debido a fenómenos impredecibles, tales como la migración, emigración, pandemias, o situaciones de emergencias naturales, por lo que, la mejor alternativa es realizar una modelación dinámica donde se consideren todas estas variables y obtener un valor mucho más realista.

Introducción a la dinámica de sistemas para modelos poblacionales

Modelos dinámicos

Un modelo dinámico es una descripción matemática del comportamiento de ciertas variables que integran un sistema. El proceso de modelización es complejo y consiste en simular o describir el comportamiento de un sistema real mediante un modelo.

La dinámica de sistemas constituye un enfoque metodológico ampliamente utilizado para el análisis y la comprensión del comportamiento de sistemas complejos a lo largo del tiempo. En el ámbito de los modelos poblacionales y de planificación de infraestructura, este enfoque permite representar de manera estructurada las interacciones entre variables demográficas, sociales, económicas y ambientales, facilitando la evaluación de escenarios futuros y la toma de decisiones informadas (Hoffmann et al., 2025).

Un modelo dinámico se define como una representación matemática que describe la evolución temporal de un conjunto de variables que conforman un sistema. El proceso de modelización implica analizar el comportamiento del sistema real, identificar sus componentes esenciales, establecer relaciones causales entre ellos y formular ecuaciones que permitan simular su respuesta ante diferentes condiciones iniciales y perturbaciones externas. Este enfoque no solo busca reproducir el comportamiento observado, sino también evaluar estrategias de control y mejora del desempeño del sistema (Yu & Wang, 2024).

Los modelos matemáticos utilizados en dinámica de sistemas pueden clasificarse en modelos físicos, empíricos y conceptuales. La modelación física se basa en la representación a escala de componentes reales, mientras que la modelación empírica se apoya en datos observados para establecer relaciones estadísticas entre variables. En contraste, la dinámica de sistemas enfatiza la comprensión de las causas estructurales del comportamiento del sistema, incorporando retroalimentaciones, retardos y no linealidades (Naugle et al., 2024).

Sistemas

El concepto de sistema se entiende como un conjunto de elementos interrelacionados que interactúan dentro de fronteras definidas. Estas fronteras delimitan el alcance del análisis y permiten distinguir entre sistemas abiertos, que intercambian materia, energía o información con el entorno, y sistemas

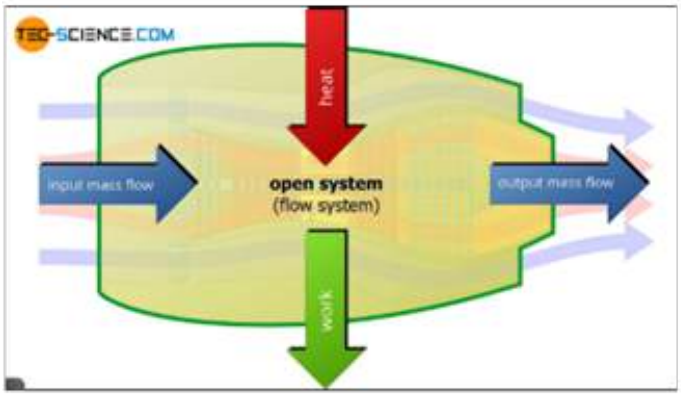
cerrados, cuya interacción con el medio es limitada. En sistemas poblacionales, esta distinción resulta clave para comprender los flujos migratorios, el crecimiento natural y las restricciones impuestas por factores externos (Barile & Polese, 2010).

El crecimiento poblacional puede analizarse mediante diferentes esquemas de estabilidad, incluyendo comportamientos estables, inestables o neutrales. La dinámica de sistemas permite evaluar los límites al crecimiento, considerando factores como disponibilidad de recursos, capacidad de carga y políticas de gestión. Para ello, se emplean diagramas causales y diagramas de niveles y flujos, que facilitan la traducción de relaciones cualitativas en ecuaciones matemáticas cuantificables. Los modelos poblacionales son sistemas abiertos, ingresan al stock poblacional, y así también salen (Lane et al., 2022).

En la teoría de sistemas, un sistema abierto se caracteriza por el intercambio continuo de materia, energía o información con su entorno, mientras que un sistema cerrado presenta una interacción limitada o inexistente con el medio externo. Esta distinción es fundamental en el modelado de sistemas poblacionales, donde los flujos de entrada y salida determinan la evolución temporal del stock poblacional y su respuesta a factores externos. En el caso de modelos poblacionales, son sistemas abiertos (Figura 53).

Figura 53

Sistemas abiertos en modelación dinámica



Nota. Obtenida de (Wikimedia Commons contributors, 2026b).

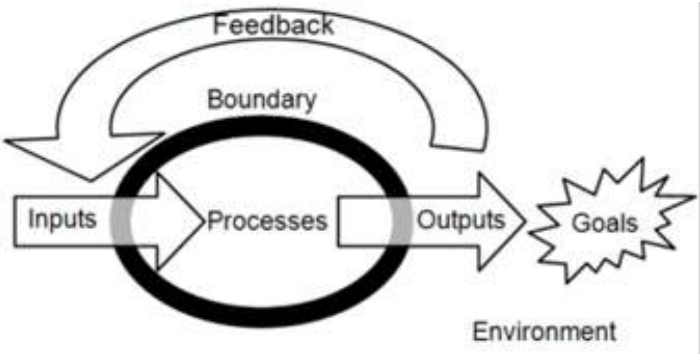
Un sistema abierto, dentro del marco de la modelación dinámica, se caracteriza por mantener intercambios permanentes con su entorno, permitiendo la

entrada y salida de materia, energía o información a través de límites funcionales definidos analíticamente. Estos flujos externos influyen directamente en el comportamiento del sistema, modificando los niveles de acumulación y las tasas de cambio internas a lo largo del tiempo.

La interacción con el medio circundante convierte al sistema en una estructura adaptable, sensible a perturbaciones externas y dependiente de condiciones contextuales, lo que resulta fundamental para representar procesos reales de naturaleza social, ambiental o poblacional. En la dinámica de sistemas, este enfoque facilita la formulación de modelos más realistas, al integrar retroalimentaciones, retardos y efectos exógenos que condicionan la evolución temporal del sistema analizado (Figura 54) (Barile & Polese, 2010).

Figura 54

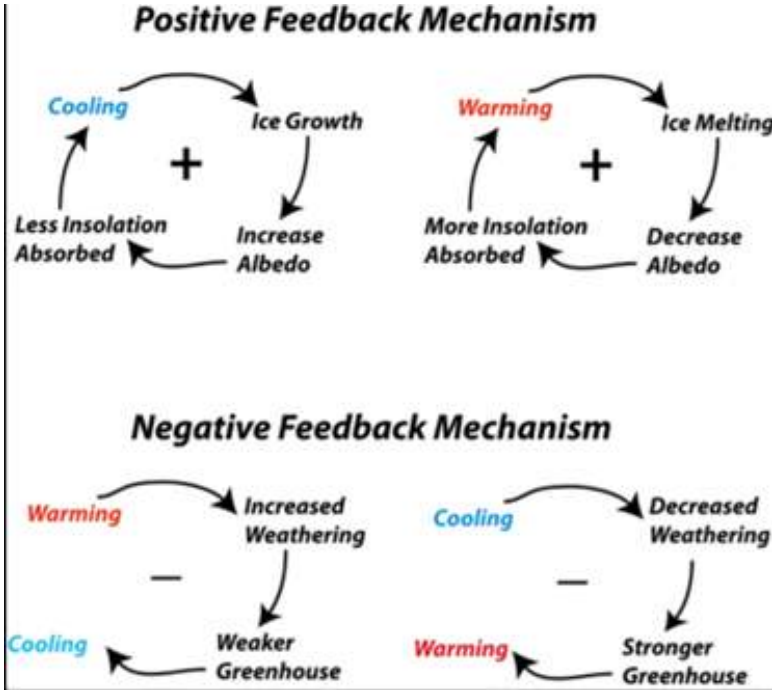
Representación conceptual de un sistema abierto en la modelación dinámica, donde los flujos de entrada y salida atraviesan los límites del sistema



La Figura 55 representa un diagrama causal de retroalimentación del sistema climático (CO_2, CH_4, radiación, temperatura, vapor de agua). En el primer caso, un cambio inicial tiende a amplificarse a sí mismo, generando una respuesta acumulativa que refuerza la dirección del proceso, como ocurre cuando variaciones en la cobertura de hielo modifican el albedo y alteran la cantidad de radiación absorbida, intensificando el enfriamiento o el calentamiento. En contraste, la retroalimentación negativa actúa como un mecanismo de autorregulación, ya que las variaciones iniciales inducen respuestas internas que atenúan el cambio original, promoviendo un equilibrio dinámico del sistema (Heinze et al., 2019).

Figura 55

Diagrama causal del sistema climático como un sistema dinámico cerrado, donde la evolución temporal está gobernada por bucles de retroalimentación internos



Modelos dinámicos con la utilización del software académico Vensim

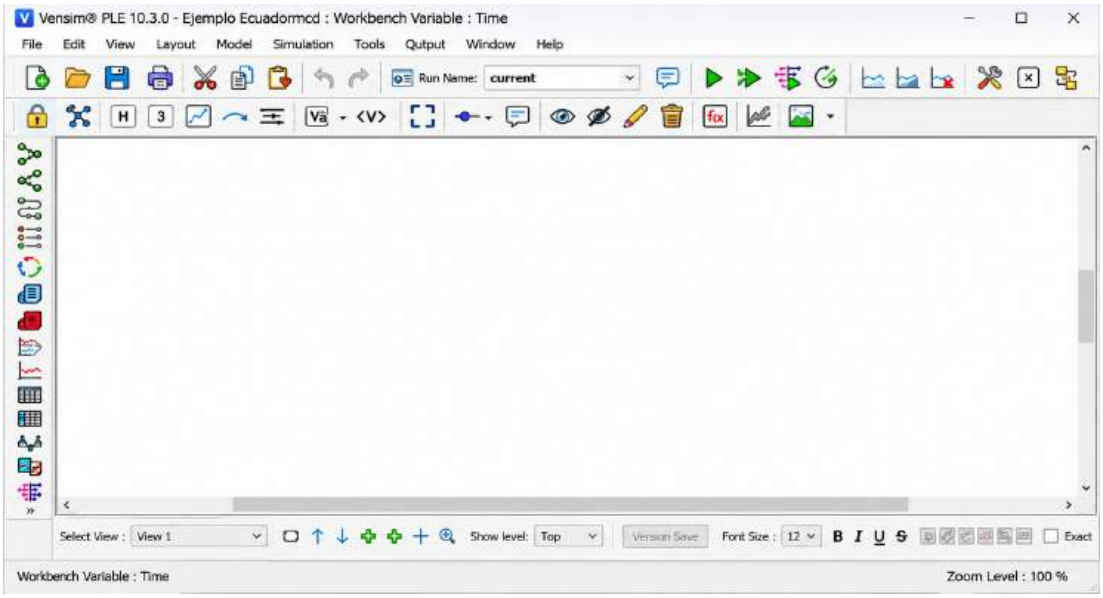
El diagrama de Forrester constituye la representación formal del diagrama de causa–efecto en el entorno de modelación Vensim. Su construcción requiere una secuencia lógica que inicia con la definición de los niveles o stocks, que representan las variables de acumulación del sistema. Posteriormente, se incorporan las variables auxiliares que describen las relaciones funcionales y condicionan el comportamiento del modelo. Finalmente, se formulan las ecuaciones matemáticas y se establecen las unidades correspondientes a los flujos, garantizando la coherencia dimensional y la consistencia dinámica del sistema modelado (Sterman, 1989).

Ejemplo de modelación dinámica poblacional del Ecuador

1. Se instala el software Vensim PLE teniendo en cuenta la licencia académica la cual está permitida utilizar con fines educativos. **https://vensim.com/vensim-personal-learning-edition/**
2. Se abre el software Vensim para empezar con la modelación requerida. En la Figura 56 se tiene la pantalla principal.

Figura 56

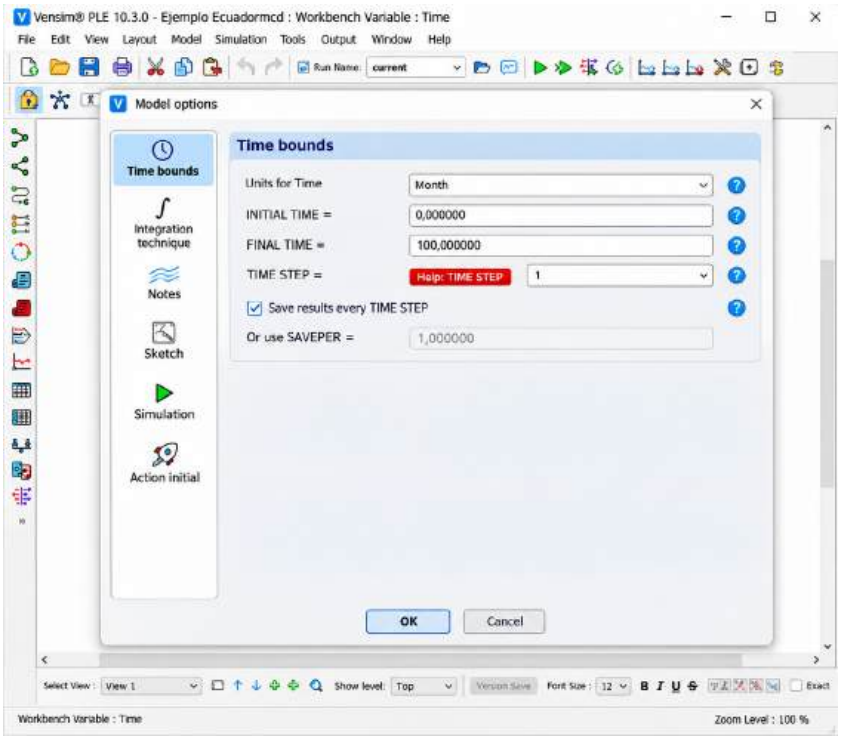
Pantalla principal del software Vensim



3. Se debe seleccionar la opción “File” sub-opción “opción new model”, para empezar a trabajar un nuevo modelo desde cero (Figura 57).

Figura 57

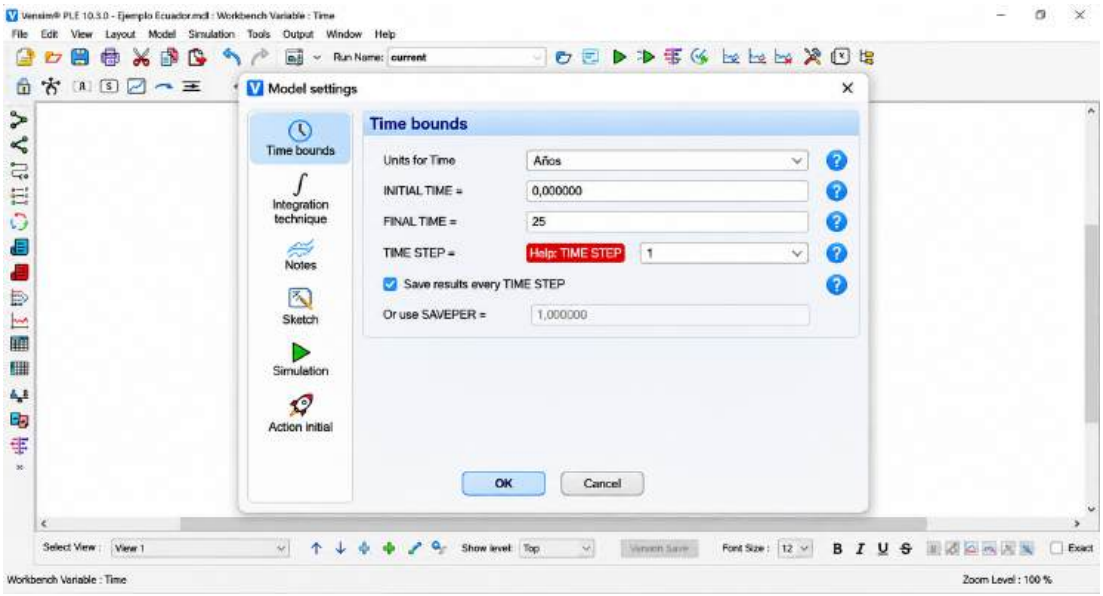
Configuración temporal del modelo



a. Se procede a colocar los ajustes del modelo que se desea realizar como unidades del tiempo inicial, tiempo final e intervalos del tiempo y seleccionamos OK, de tal manera como se observa en la Figura 58.

Figura 58

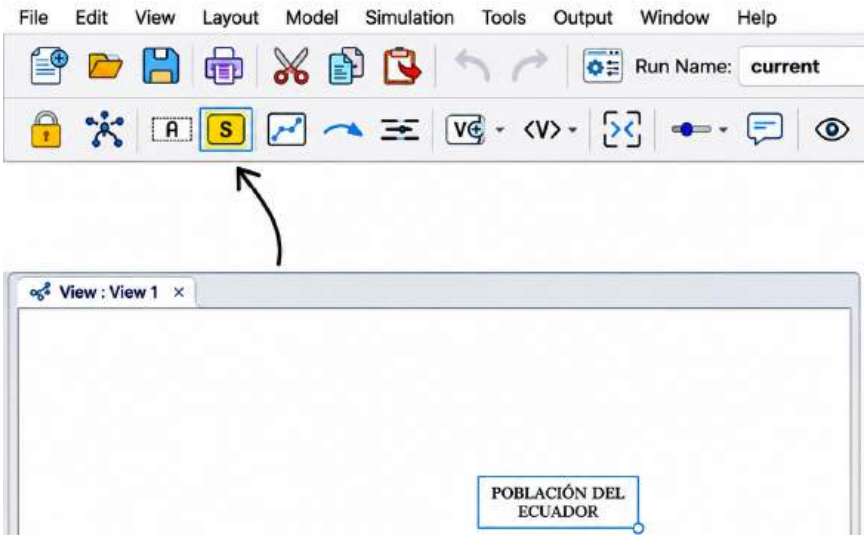
Ingreso del tiempo que se va a modelar con las unidades



b. Para añadir una variable que define un nivel, se debe seleccionar el icono "stock tool", y posteriormente, se debe hacer un click en cualquier lugar del espacio de trabajo. A continuación, escribir "POBLACION DEL ECUADOR" y seleccionar la tecla "enter". Así se esta manera se ingresó la variable (Figura 59).

Figura 59

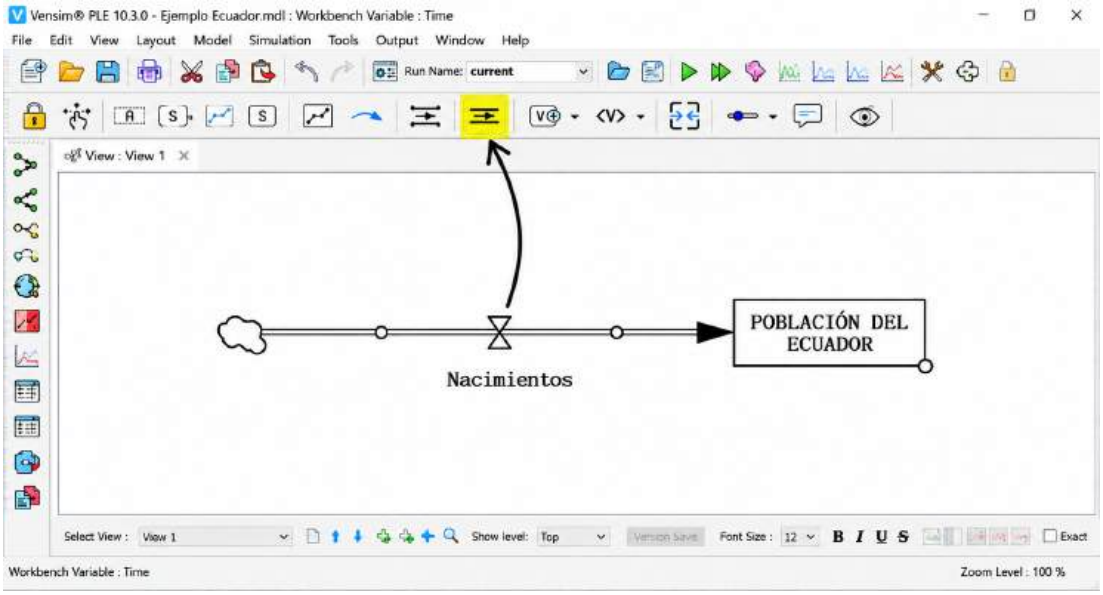
Ingreso de la variable stock al modelo



4. Definición de variables. Para ingresar las variables se debe seleccionar el icono "Flow tool", a continuación, se debe dar un click distado aproximadamente 5 cm a lado izquierdo de la variable "POBLACIÓN DEL ECUADOR", posteriormente se debe mover el cursor dirigiéndose hacia dicha variable y dar otro click. Finalmente, se debe escribir dentro del cuadro que aparece "Nacimientos" y presionar "Enter" (Figura 60).

Figura 60

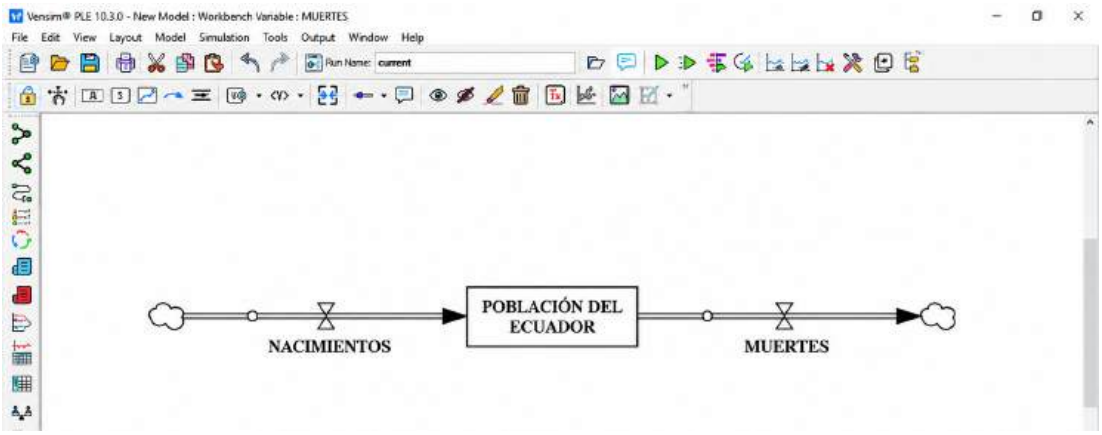
Ingreso de variables en el flujo



a. Se procede a dar un click en la variable "POBLACIÓN DEL ECUADOR" y dirigir la flecha 5 cm hacia la derecha con el cursor. Luego, dar otro click. En el cuadro que aparece se debe escribir el nombre de la variable, en este caso es "Muertes" y seleccionar la tecla "enter" (Figura 61).

Figura 61

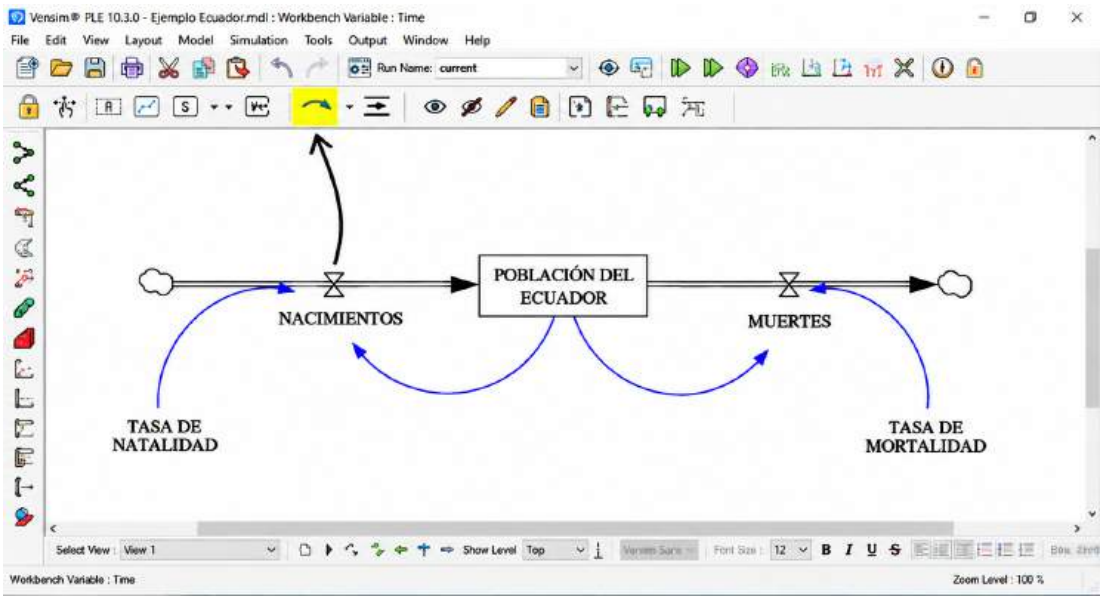
Diagrama con stock y flujo del modelo



5. Relación entre las variables con el icono "Arrow tool". De un click sobre la variable "Tasa de natalidad" y de la misma manera sobre la variable "Nacimientos", se debe dar un click en la parte central de la flecha que se acaba de dibujar y mover hasta que la flecha curva sea de su agrado. Luego, realizar el mismo procedimiento relacionando con flechas cada variable con su respectiva tasa, adicionalmente, es necesario relacionar con flechas la variable "Población del Ecuador" con cada una de las variables: "Nacimientos", "Muertes", generando finalmente el diagrama de causa efecto (Figura 62).

Figura 62

Modelo en el sofware Vensim como producto del bucle poblacional



6. Para el desarrollo de la modelación es fundamental definir adecuadamente las ecuaciones que representan el comportamiento de las variables analizadas. El modelo puede considerar diferentes tipos de incrementos, ya sean constantes o variables en el tiempo. Cuando se trabaja con incrementos constantes, es necesario establecer previamente la expresión matemática que permita representar de manera adecuada su comportamiento dentro del periodo de análisis.

En el caso de variables cuyo comportamiento no es constante, se debe determinar una función matemática que represente de la mejor manera posible

la variación observada en los datos. Para ello, se analiza su tendencia y se selecciona la función que presente el mejor ajuste, la cual posteriormente se utiliza para estimar los valores correspondientes a cada intervalo considerado en la modelación.

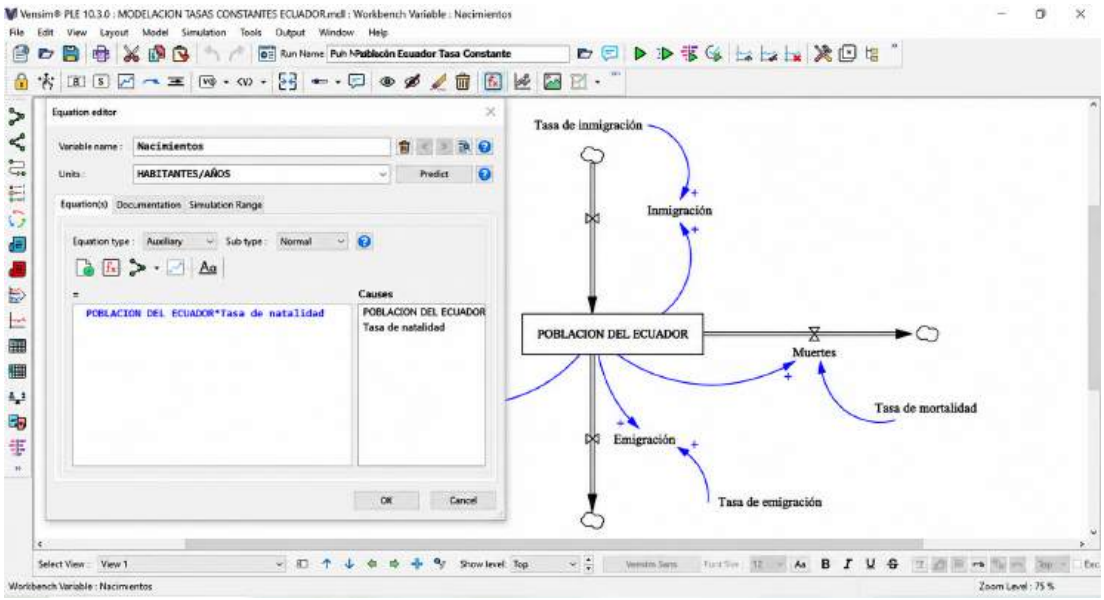
Cada una de las variables incorporadas en el modelo cuenta con su respectiva ecuación y con las unidades correspondientes, con el propósito de mantener la consistencia dimensional durante los cálculos. De manera general, la relación utilizada para representar cada variable puede expresarse mediante la ecuación 14.

$$Nacimientos = (POBLACIÓN\ DEL\ ECUADOR) * (Tasa\ de\ natalidad) \quad (14)$$

Las unidades de las variables nacimientos son habitantes/Años. La población del Ecuador las unidades son habitantes y la tasa de natalidad es 1/Años para que la ecuación de nacimientos cumpla con las dimensiones del modelo. La tasa de natalidad constante y variable se obtiene con los datos censales medidos por el INEC (Figura 63).

Figura 63

Ingreso en el software Vensim de la ecuación y unidades del flujo de nacimientos



Es importante mencionar que en cada proceso que se realice, se debe ir añadiendo las unidades en cada ecuación realizada para obtener el modelado, ya que esto permite definir de manera adecuada la consistencia dimensional.

7. Variables auxiliares de ingreso al stock del modelo. En la selección de nacimientos refleja que es una variable auxiliar, en donde se va a colocar la ecuación que se puede observar en la imagen anterior, la ecuación 15.

$$Nacimientos = POBLACIÓN\ DEL\ ECUADOR * Tasa\ de\ natalidad \qquad (15)$$

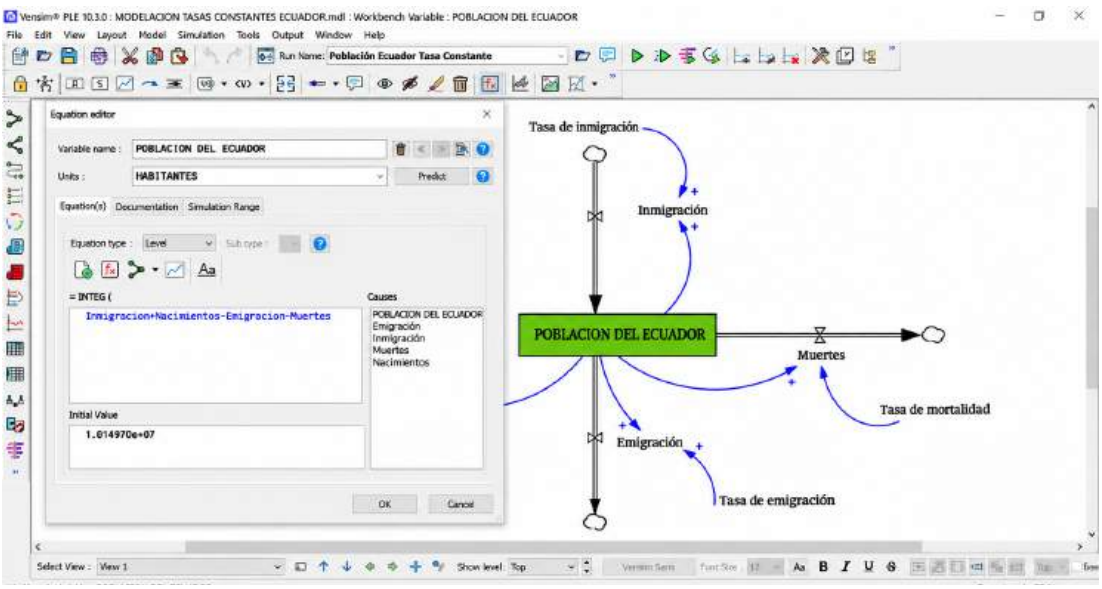
Adicionalmente, es importante añadir las unidades de las variables, en este caso para la variable de Nacimientos quedaría en unidades de HABITANTES/AÑOS, para generar el cambio de unidades se selecciona la opción que dice unidades y se guardan los cambios.

8. Valores iniciales del modelo. Se debe seleccionar la opción "POBLACIÓN DEL ECUADOR" en el recuadro del color blanco al lado derecho indica las funciones de INTEG que va a permitir definir un nivel, en el recuadro de la opción INTEG, refleja el dato adicional que va a definir el nivel.

La ecuación por default ya presenta las variables "Nacimientos" y "Muertes" ya que en el modelado se unieron estas variables y el software Vensim direcciona a cada variable los flujos en la ecuación de nivel, y realiza un balance de masas, lo que ingresa menos lo que sale. En esta parte también se pueden agregar los valores iniciales del modelo, para el caso de las poblaciones sería la información poblacional del primer año del censo (Figura 64).

Figura 64

Valores iniciales del modelo ecuaciones y unidades del stock

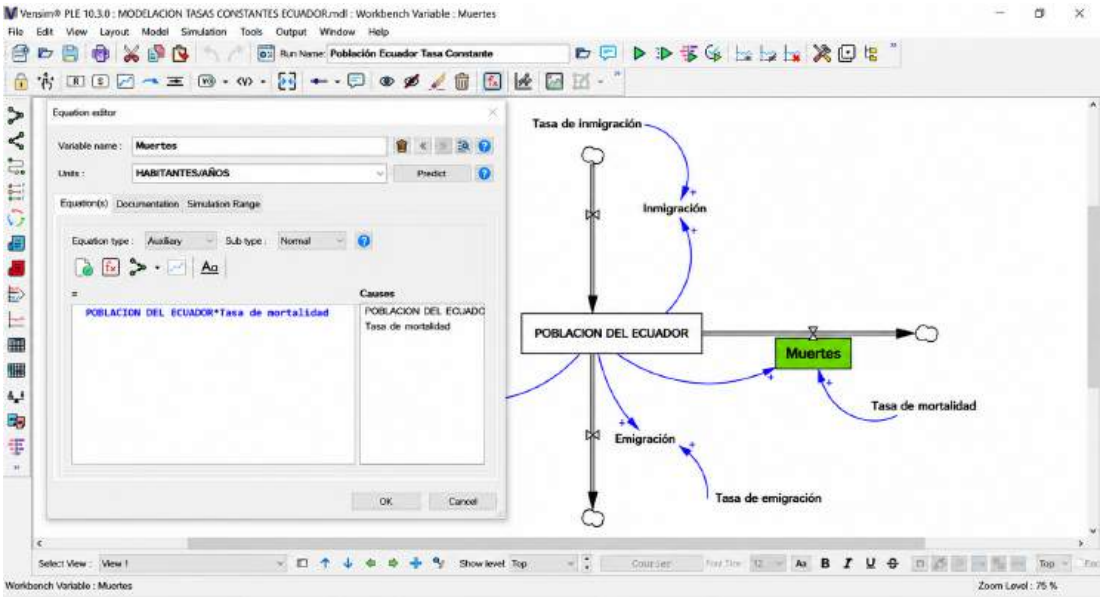


9. Variables auxiliares de salida del stock del modelo. La variable de muertes es el flujo que saca la población del stock. Las unidades son Habitantes/Años. La tasa de mortalidad para que las unidades estén de acorde a las dimensiones son 1/Años, y esa tasa se obtiene de los datos censales proporcionados por el INEC (Figura 65), ecuación 16.

$$Muertes = POBLACIÓN\ DEL\ ECUADOR * Tasa\ de\ mortalidad \quad (16)$$

Figura 65

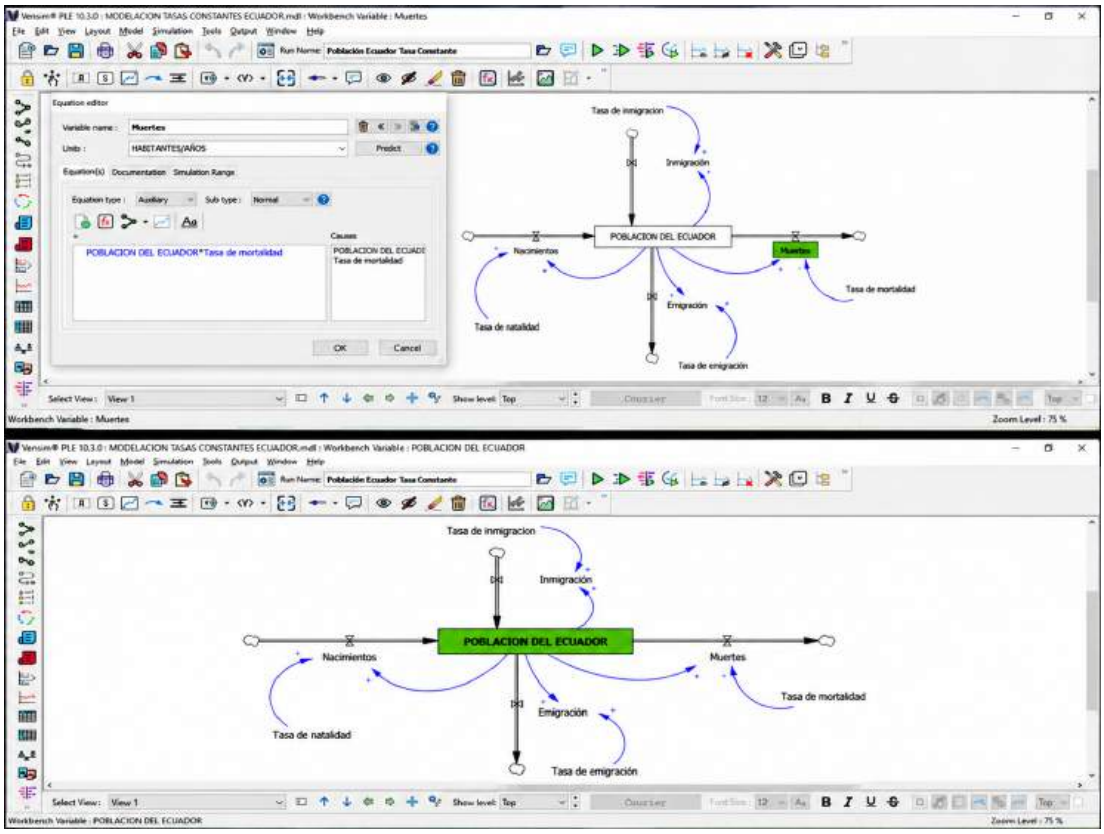
Variables de salida del stock en el modelo poblacional



10. Modelo final poblacional del Ecuador considerando las variables de ingreso y de salida del stock, en ingreso se tienen nacimientos e inmigración y de salida se tienen muertes y emigración, con sus respectivas unidades. Finalmente, como valor inicial, se tienen los datos censales del INEC (Figura 66).

Figura 66

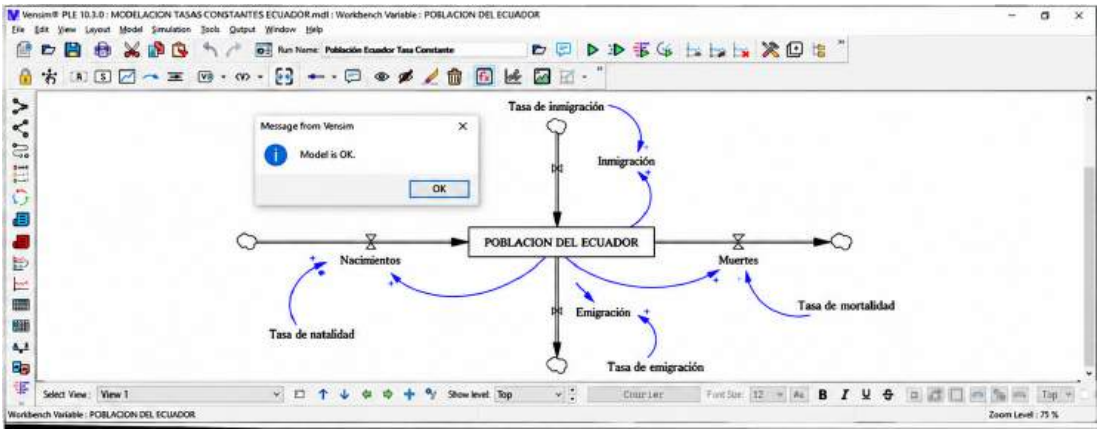
Modelo final poblacional de Ecuador

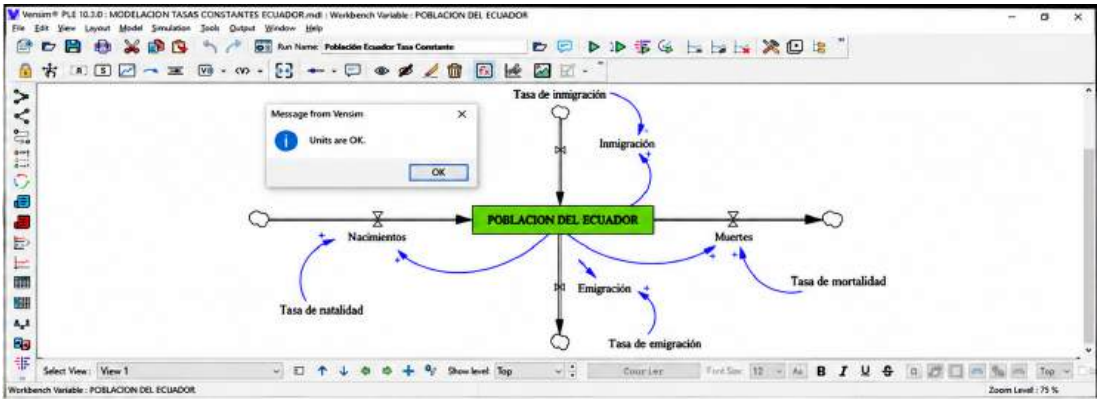


11. Chequeo de Unidades y Estabilidad del sistema. Es importante realizar el chequeo del modelo y de unidades del sistema, esto permite al sistema trabajar en unidades compatibles y que el modelo no tenga inconsistencias. Obligatoriamente en el modelo tiene que aparecer que todo está OK (Figura 67).

Figura 67

Comprobación que el modelo y las unidades están correctas





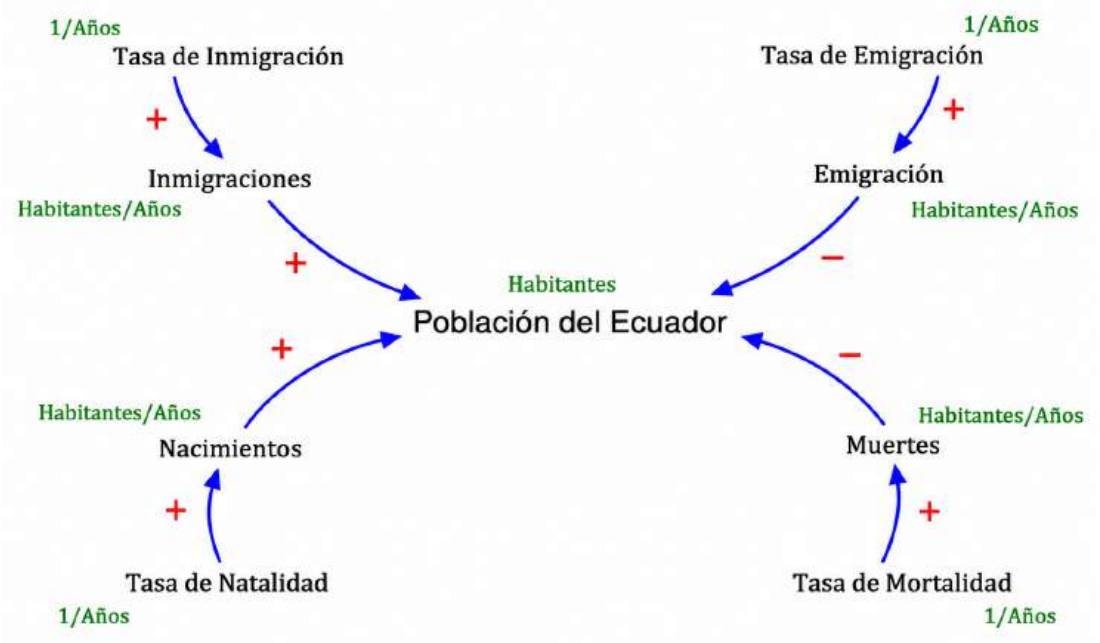
12. Corrida del modelo poblacional del Ecuador con tasa constante. Diagrama causa-efecto. El modelo es inestable porque se tienen más bucles positivos que negativos (Figura 68).

Para la prueba de estabilidad se sigue la ecuación 17 en función de los signos de los flujos que ingresan a la variable stock.

$$\Sigma + > \Sigma - \qquad (17)$$

Figura 68

Test de estabilidad del sistema

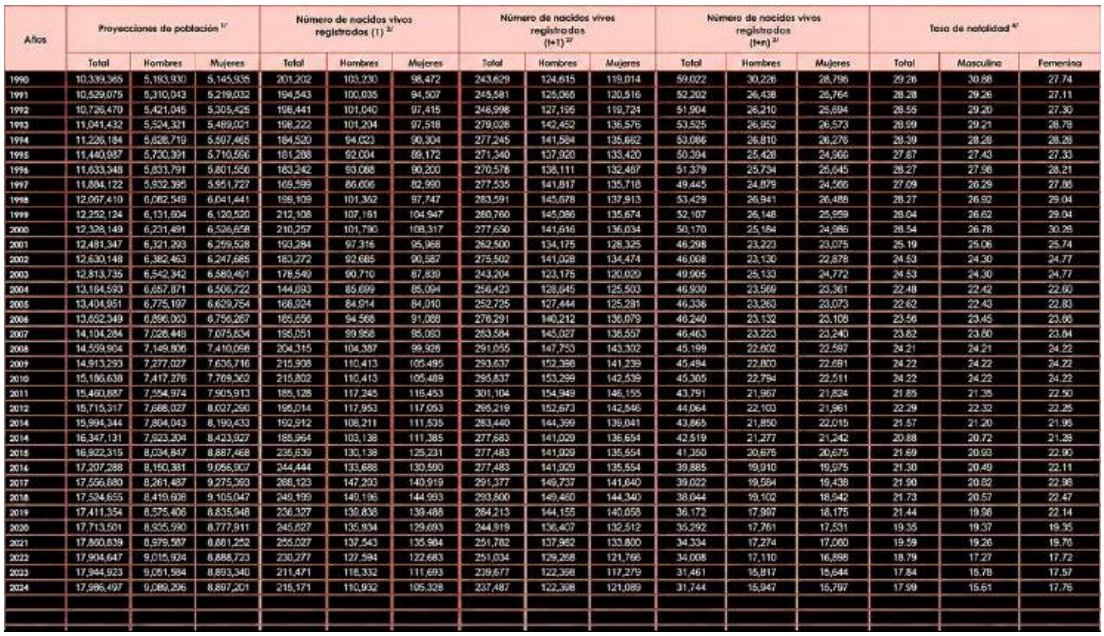


13. Análisis con tasa constante. Para el análisis con variables constantes se utilizó el promedio de las tasas para el rango, desde 1990 hasta 2024 que

proporciona el INEC en lo que respecta a los nacimientos (Figura 69) y a las muertes (Figura 70), el INEC presenta información en su web site desde el año 1990 al 2024.

Figura 69

Nacimientos en el Ecuador desde el año 1990 al 2024 (INEC, 2024).



Años	Proyecciones de población 1/			Número de nacidos vivos registrados (1) 2/			Número de nacidos vivos registrados (t+1) 2/			Número de nacidos vivos registrados (t+n) 2/			Tasa de natalidad 4/		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Masculina	Femenina
1990	10,339,365	5,193,930	5,145,935	201,202	103,230	98,472	243,629	124,615	119,014	59,022	30,226	28,796	29.26	30.88	27.74
1991	10,529,075	5,310,043	5,219,032	194,543	100,035	94,507	245,581	125,065	120,516	52,202	26,438	25,764	28.28	29.26	27.11
1992	10,726,470	5,421,045	5,305,425	198,441	101,040	97,415	246,998	127,196	119,724	51,904	26,210	25,694	28.55	29.20	27.30
1993	11,041,432	5,524,321	5,489,021	198,222	101,204	97,518	279,028	142,452	136,576	53,525	26,952	26,573	28.99	29.21	28.78
1994	11,228,184	5,628,719	5,597,465	184,520	94,023	90,304	277,245	141,584	135,662	53,086	26,810	26,276	28.39	28.28	28.28
1995	11,440,987	5,730,391	5,710,596	181,288	92,004	89,172	271,340	137,920	133,420	50,394	25,428	24,966	27.87	27.43	27.33
1996	11,633,348	5,831,791	5,801,556	183,242	93,088	90,200	270,578	138,111	132,467	51,379	25,734	25,645	28.27	27.98	28.21
1997	11,884,122	5,932,395	5,951,727	169,599	86,606	82,993	277,535	141,817	135,718	49,445	24,879	24,566	27.09	26.29	27.88
1998	12,067,410	6,032,549	6,041,441	198,109	101,362	97,747	283,591	145,678	137,913	53,429	26,941	26,488	28.27	26.92	29.04
1999	12,252,124	6,131,604	6,120,520	212,108	107,161	104,947	280,760	145,086	135,674	52,107	26,148	25,959	28.04	26.62	29.04
2000	12,328,149	6,231,491	6,526,658	210,257	101,790	108,317	277,650	141,616	136,034	50,170	25,184	24,986	28.54	26.78	30.28
2001	12,481,347	6,321,293	6,259,528	193,284	97,316	95,968	262,500	134,175	128,325	46,298	23,223	23,075	25.19	25.06	25.74
2002	12,630,148	6,382,463	6,247,685	183,272	92,685	90,587	275,502	141,028	134,474	46,008	23,130	22,878	24.53	24.30	24.77
2003	12,813,735	6,542,342	6,580,401	178,540	90,710	87,830	243,204	123,175	120,029	49,905	25,133	24,772	24.53	24.30	24.77
2004	13,164,593	6,657,871	6,506,722	144,093	85,699	85,094	256,423	128,845	125,503	46,930	23,569	23,361	22.48	22.42	22.60
2005	13,404,951	6,775,197	6,629,754	168,924	84,914	84,010	252,725	127,444	125,281	46,336	23,263	23,073	22.62	22.42	22.83
2006	13,662,349	6,896,093	6,756,267	185,656	94,568	91,088	276,291	140,212	136,079	46,240	23,132	23,108	23.56	23.45	23.66
2007	14,104,284	7,028,448	7,075,834	195,051	99,958	95,093	263,584	145,027	138,557	46,463	23,223	23,240	23.62	23.80	23.84
2008	14,559,804	7,149,806	7,410,098	204,315	104,387	99,928	291,055	147,753	143,302	45,199	22,602	22,597	24.21	24.21	24.22
2009	14,913,293	7,277,027	7,636,716	215,908	110,413	105,495	293,637	152,388	141,239	45,494	22,803	22,691	24.22	24.22	24.22
2010	15,180,638	7,417,276	7,763,362	215,802	110,413	105,489	295,837	153,299	142,539	45,305	22,794	22,511	24.22	24.22	24.22
2011	15,460,887	7,554,974	7,905,913	185,128	117,245	116,453	301,104	154,949	146,155	43,791	21,967	21,824	21.85	21.35	22.50
2012	15,715,317	7,688,027	8,027,290	195,014	117,953	117,053	295,219	152,673	142,546	44,064	22,103	21,961	22.29	22.32	22.25
2013	15,994,344	7,804,043	8,190,433	192,912	108,211	111,535	283,440	144,399	139,041	43,865	21,850	22,015	21.57	21.20	21.95
2014	16,347,131	7,923,204	8,423,927	185,964	103,138	111,385	277,683	141,029	136,654	42,519	21,277	21,242	20.88	20.72	21.28
2015	16,922,315	8,034,847	8,887,468	235,639	130,138	125,231	277,483	141,029	135,654	41,350	20,675	20,675	21.69	20.93	22.90
2016	17,207,288	8,150,381	9,056,907	244,444	133,688	130,590	277,483	141,029	135,554	39,885	19,910	19,975	21.30	20.49	22.11
2017	17,556,880	8,261,487	9,275,393	288,123	147,203	140,919	291,377	149,737	141,640	39,022	19,584	19,438	21.90	20.82	22.96
2018	17,584,655	8,419,608	9,165,047	249,199	149,196	144,993	293,800	149,460	144,340	38,044	19,102	18,942	21.73	20.57	22.47
2019	17,411,354	8,575,406	8,835,948	236,327	130,838	139,488	284,213	144,155	140,058	36,172	17,997	18,175	21.44	19.96	22.14
2020	17,713,501	8,935,590	8,777,911	245,627	130,934	129,693	244,919	136,407	132,512	35,292	17,761	17,531	19.35	19.37	19.35
2021	17,860,839	8,978,587	8,881,252	255,027	137,543	135,984	251,782	137,982	133,800	34,334	17,274	17,060	19.59	19.26	19.76
2022	17,904,647	9,015,924	8,888,723	230,277	127,594	122,683	251,034	129,268	121,766	34,008	17,110	16,898	18.79	17.27	17.72
2023	17,944,923	9,051,584	8,893,340	211,471	118,332	111,693	239,677	122,368	117,279	31,461	15,817	15,644	17.84	15.78	17.57
2024	17,986,497	9,089,296	8,897,201	215,171	110,932	105,328	237,487	122,398	121,089	31,744	15,947	15,797	17.59	15.61	17.76

Figura 70

Muertes en el Ecuador desde el año 1990 al 2024 (INEC, 2024).

Años	Defunciones (t+1) 1/			Estimaciones población 2/			Tasas de mortalidad 3/		
	Total	Hombre	Mujer	Total	Hombre	Mujer	General	Masculina	Femenina
1990	50,217	27,780	22,437	10,333,865	5,193,930	5,139,935	4.9	5.3	4.4
1991	53,333	29,730	23,603	10,569,075	5,310,054	5,259,021	5.0	5.6	4.5
1992	53,430	29,708	23,722	10,796,270	5,421,045	5,375,225	4.9	5.5	4.4
1993	52,453	29,292	23,161	11,014,242	5,526,221	5,488,021	4.8	5.3	4.2
1994	51,165	28,689	22,476	11,228,134	5,628,719	5,599,415	4.6	5.1	4.0
1995	50,867	28,608	22,259	11,440,937	5,730,391	5,710,546	4.4	5.0	3.9
1996	52,300	29,551	22,749	11,653,346	5,831,791	5,821,555	4.5	5.1	3.9
1997	52,089	29,347	22,742	11,864,682	5,932,625	5,932,057	4.4	4.9	3.8
1998	54,357	30,842	23,515	12,074,210	6,032,569	6,041,641	4.5	5.1	3.9
1999	55,921	31,895	24,026	12,281,694	6,131,606	6,150,088	4.6	5.2	3.9
2000	56,420	31,966	24,454	12,480,574	6,225,917	6,254,657	4.5	5.1	3.9
2001	55,214	31,255	23,959	12,681,367	6,321,839	6,359,528	4.4	4.9	3.8
2002	55,549	31,504	24,045	13,900,668	6,428,743	6,471,925	4.3	4.9	3.7
2003	53,521	30,366	23,155	13,131,753	6,542,262	6,589,491	4.1	4.6	3.5
2004	54,729	31,292	23,437	13,366,595	6,657,871	6,708,724	4.1	4.7	3.5
2005	56,825	32,621	24,204	13,604,351	6,775,137	6,829,214	4.2	4.8	3.5
2006	57,940	32,775	25,165	13,852,369	6,898,045	6,954,324	4.2	4.8	3.6
2007	58,016	33,103	24,913	14,106,786	7,024,440	7,082,346	4.1	4.7	3.5
2008	60,023	34,509	25,514	14,359,090	7,149,680	7,209,410	4.2	4.8	3.5
2009	59,714	33,868	25,846	14,616,393	7,277,677	7,338,716	4.1	4.7	3.5
2010	61,681	34,895	26,786	14,883,661	7,411,142	7,472,519	4.1	4.7	3.6
2011	62,304	35,268	27,036	15,160,587	7,549,774	7,610,813	4.1	4.7	3.6
2012	63,511	35,314	28,197	15,440,550	7,689,841	7,750,709	4.1	4.6	3.6
2013	64,206	35,554	28,652	15,717,514	7,828,062	7,889,452	4.1	4.5	3.6
2014	63,788	35,242	28,546	15,994,366	7,966,026	8,028,340	4.0	4.4	3.6

2015	65,391	35,936	29,455	16,269,171	8,102,736	8,166,435	4.0	4.4	3.6
2016	68,304	37,384	30,920	16,532,265	8,233,040	8,299,225	4.1	4.5	3.7
2017	70,144	38,541	31,603	16,792,803	8,361,847	8,430,956	4.2	4.6	3.7
2018	71,982	39,612	32,370	17,077,883	8,503,381	8,574,502	4.2	4.7	3.8
2019	74,439	41,205	33,234	17,356,880	8,641,467	8,715,413	4.3	4.8	3.8
2020	117,200	69,031	48,169	17,526,455	8,719,430	8,807,025	6.7	7.9	5.5
2021	106,211	60,598	45,613	17,614,396	8,754,106	8,860,290	6.0	6.9	5.1
2022	91,193	51,590	39,603	17,715,301	8,798,397	8,916,904	5.1	5.9	4.4
2023	89,068	51,773	37,295	17,834,831	8,853,603	8,981,228	5.0	5.8	4.2
2024	89,547	51,603	37,944	17,966,573	8,915,584	9,050,989	5.0	5.8	4.2

La tasa de promedio en nacimientos de acuerdo con lo que reporta el INEC desde el año 1990 al 2024 es de 0.022497, por otro lado, la tasa de muertes promedio en ese mismo rango de años es de 0.004507313.

En la Figura 71, se encuentra, lo que respecta a la inmigración y la emigración, presentado por el INEC, una base de datos desde el año 1997 al 2024 (INEC, 2025).

La modelación poblacional del Ecuador con tasa constante, como variable auxiliar, se tomó el promedio de los datos censales presentados por el INEC.

Figura 71

Entradas, salidas, flujo migratorio general y saldo migratorio

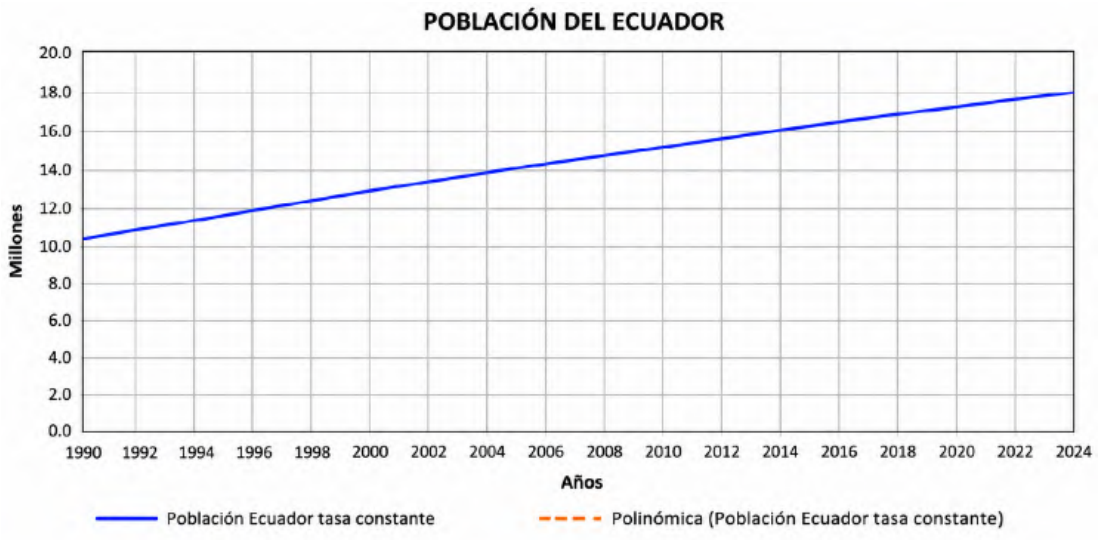
Años	Entradas	Salidas	Flujo Migratorio General=	Saldo Migratorio=
1997	819,184	722,733	1,541,917	96,451
1998	705,269	624,358	1,329,627	80,911
1999	812,217	794,301	1,606,518	17,916
2000	971,142	964,900	1,936,042	6,242
2001	1,064,298	1,026,848	2,091,146	37,450
2002	1,144,358	1,114,157	2,258,515	30,201
2003	1,246,747	1,132,907	2,379,654	113,840
2004	1,347,839	1,245,697	2,593,536	102,142
2005	1,456,926	1,367,156	2,824,082	89,770
2006	1,514,822	1,512,844	3,027,666	1,978
2007	1,695,379	1,698,881	3,394,260	-3,502
2008	1,757,235	1,767,097	3,524,332	-9,862
2009	1,788,791	1,742,611	3,531,402	46,180
2010	1,940,506	1,904,307	3,844,813	36,199
2011	2,168,580	2,108,567	4,277,147	60,013
2012	2,297,211	2,240,008	4,537,219	57,203
2013	2,507,173	2,447,510	4,954,683	59,663
2014	2,826,666	2,759,821	5,586,487	66,845
2015	2,919,356	2,862,444	5,781,800	56,912
2016	2,911,927	2,929,849	5,841,776	-17,922
2017	3,114,763	3,065,412	6,180,175	49,351
2018	3,903,315	3,749,943	7,653,258	153,372
2019	3,557,506	3,485,700	7,043,206	71,806

2020	978,493	1,042,983	2,021,476	-64,490
2021	1,376,221	1,468,567	2,844,788	-92,346
2022	2,457,544	2,595,089	5,052,633	-137,545
2023[3]	3,069,447	3,136,163	6,205,610	-66,716
2024[3]	3,008,163	3,145,428	6,153,591	-137,265

14. Modelación poblacional del Ecuador con tasa constante desde el año 1990 al 2100. En la Figura 72, se parte con los datos del INEC, en el año 1990, una población de 10,149,700.00; en el año 2100, una población de 14,111,111.00. Los primeros años coinciden con los datos censales del INEC, sin embargo, con el tiempo se aleja de lo medido.

Figura 72

Modelación poblacional del Ecuador con tasa constante desde el año 1990 al 2100



15. Modelación poblacional del Ecuador con tasa variable. El enfoque con tasa variable guarda gran similitud con el modelo que utiliza una tasa constante. La distinción principal se encuentra en la variable "Tasa de Nacimiento, Inmigración, Emigración, Mortalidad, ". En este caso, al asignar la ecuación, no se introduce un consumo promedio, como se hizo previamente, sino que se ingresan los consumos reales obtenidos durante los censos realizados por el INEC. El ejercicio se realizó desde el año 1990 hasta el año 2100, las tasas de los años no medidos se determinaron con la mejor función que proporcione la serie de nacimientos y se completó hasta el final de la modelación Figura 73.

Figura 73

Función que mejor se ajusta de la dinámica de nacimientos de los censos del INEC



El mismo análisis se realizó en la base de datos de las muertes del Ecuador. No existe una buena correlación porque se encuentran datos que se salen del comportamiento estacional, los años del covid, del 2020 al 2022 (Figura 74).

Figura 74

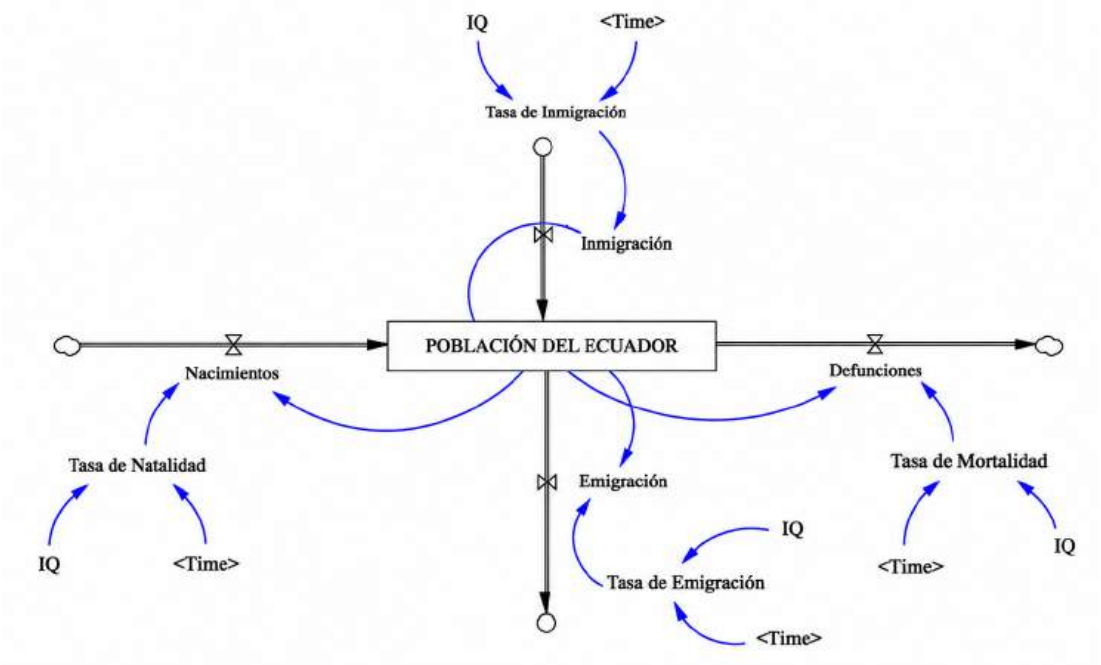
Función que mejor se ajusta a la dinámica de muertes de los censos del INEC



En la Figura 75 se presenta la modelación poblacional del Ecuador con tasa variable.

Figura 75

Modelo poblacional del Ecuador con tasa variable en el software académico Vensim



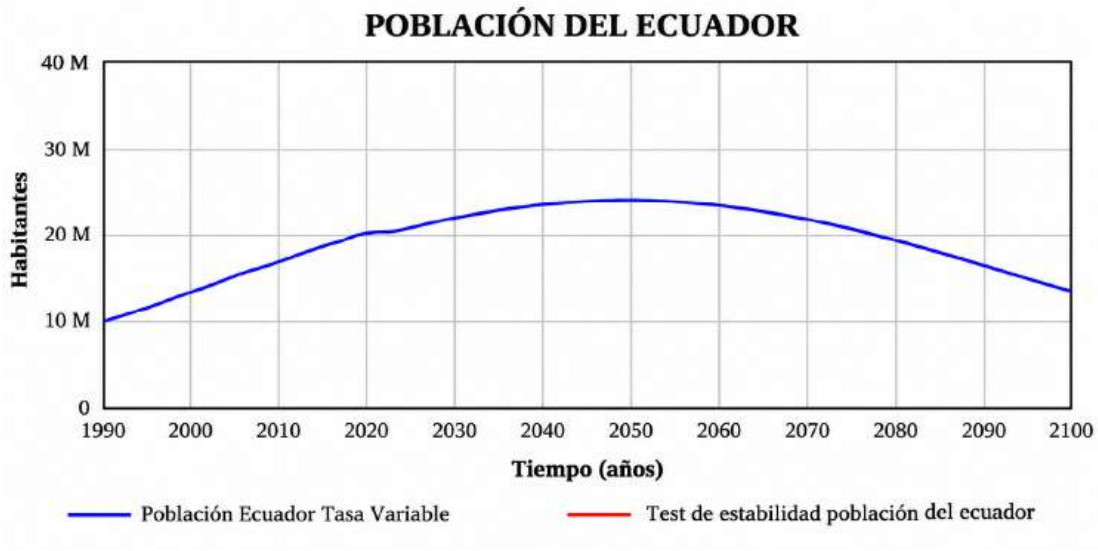
Los resultados del modelo poblacional se encuentran en la Figura 76 de la página siguiente. La población mayor del Ecuador será en el año 2051 con 24 249 900.00 y empieza a decrecer hasta el año 2100 con una población de 14 196 000.00 habitantes. Los problemas del Ecuador por decrecimiento poblacional son complicados y se está a tiempo de tomar medidas políticas para revertirlo.

El diseñador de proyectos de agua potable y alcantarillado no tiene la capacidad de predecir el futuro; sin embargo, con la modelación dinámica, se tienen herramientas, entre tanta incertidumbre.

Ejemplo de modelación dinámica poblacional del Ecuador

Figura 76

Modelo poblacional del Ecuador con tasa variable



Ejemplo de población de saturación

La población de saturación de un sistema de abastecimiento puede definirse como el umbral máximo de usuarios que puede ser atendido de manera continua sin comprometer la sostenibilidad de la fuente ni el nivel de servicio, determinado por la relación entre la oferta disponible y la demanda proyectada (Fu et al., 2024).

En el artículo "Dynamic Model of SARS-CoV-2 Spread and Drinking Water Consumption Impact at Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador" (2022), (D. Carrera-Villacrés et al., 2022), no se calcula explícitamente una población de saturación hidráulica, el concepto de saturación se maneja de forma implícita y funcional, a través de la población máxima considerada, y como límite superior del sistema, la población universitaria total, al 100%, 10,325 personas

Este valor funciona como una población de saturación operativa, ya que representa el máximo número de usuarios que podrían demandar agua simultáneamente en el campus.

El otro factor que explica el trabajo de investigación (D. Carrera-Villacrés et al., 2022), es la capacidad de oferta de agua, como una restricción del sistema.

La saturación se analiza comparando esa población máxima con el caudal disponible de los pozos (10 l/s y 25 l/s).

Se concluye que el sistema entra en una condición de saturación futura si la demanda es continua y total.

La población de saturación en campus universitarios puede estimarse a partir de criterios internacionales de planificación espacial educativa, los cuales recomiendan áreas entre 1.5 y 2.0 m² por estudiante en aulas teóricas y valores superiores en laboratorios y talleres. Estos criterios, alineados con los principios de infraestructura educativa de UNESCO y los lineamientos WASH de OMS/UNICEF, permiten dimensionar adecuadamente los sistemas de abastecimiento de agua potable considerando la ocupación máxima simultánea (Tabla 23).

Tabla 23

Áreas recomendadas en edificaciones educativas (UNESCO, 1985).

Tipo de espacio	**Área recomendada m²/estudiante**
Aula teórica	1.5-2.0
Aula con TIC	2.0-2.5
Laboratorios	4.0-6.0
Talleres técnicos	6.0-8.0
Bibliotecas	0.6-1.0
Áreas administrativas	0.3-0.5
Áreas comunes internas	0.8-1.2
Circulaciones	25-30% de área construida
Áreas verdes	5.0-10.0
Servicios (Baños, cafeterías)	0.5-0.8

Con la ecuación 18 se calcula la población de saturación:

$$Ps = \frac{A_{Total\ Utilizable}}{A_{Estudiante}} \qquad (18)$$

Donde:

Ps: Población de saturación

ATotal Utilizable= Área total utilizable en la infraestructura

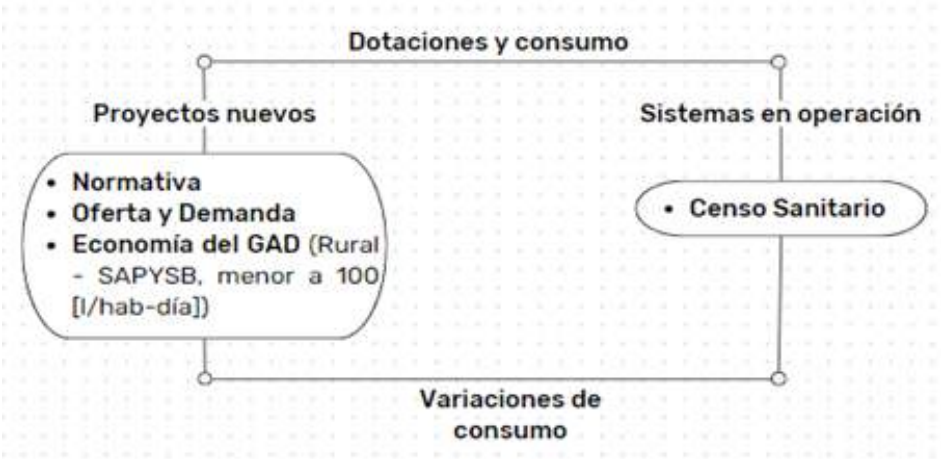
AEstudiante = Área que requiere cada estudiante

Consumo y dotaciones

En un estudio de agua potable para obtener el consumo y las dotaciones se tienen que valorar de diferente manera, más bien, para proyectos nuevos o sistemas en operación, esto se debe a que en proyectos nuevos no hay datos que puedan ayudar a definir parámetros de diseño, por eso se hace uso de la literatura existente, códigos o normativas que expliquen sobre la Oferta y la Demanda, por otro lado, en un sistema en operación estos datos se los obtiene a partir de un censo sanitario y mediciones en campo (Figura 77).

Figura 77

Dotaciones y consumo para proyectos nuevos y sistemas en operación en agua potable y saneamiento



La dotación se define como la cantidad de agua que se asigna a cada habitante de una respectiva población; es importante tomar en cuenta los consumos de los servicios y pérdidas físicas que se generan en el sistema. Se debe realizar un análisis minucioso para establecer la dotación de un proyecto cuando es de una nueva fuente (CONAGUA, 2019a).

La dinámica demográfica experimentada en las últimas décadas ha introducido transformaciones sustanciales en la forma en que las poblaciones utili-

zan el recurso hídrico para consumo humano. Factores como la reorganización territorial, los cambios en la estructura poblacional, el crecimiento urbano y la modificación de los patrones de uso doméstico influyen directamente en la magnitud y distribución de la demanda de agua potable. En este contexto, la caracterización específica de la población atendida se vuelve un elemento técnico clave para la definición de dotaciones de diseño, ya que permite dimensionar los sistemas de abastecimiento de manera coherente con las condiciones reales de consumo y con criterios de sostenibilidad operativa (Arbués et al., 2010).

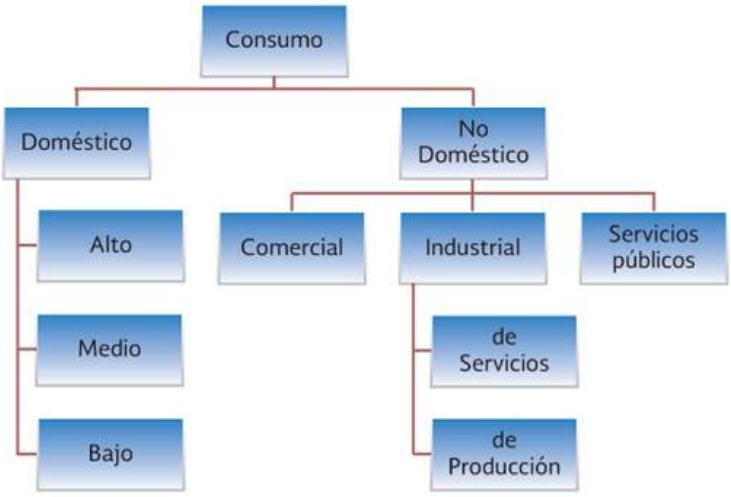
Este consumo de agua de una población está dado por:

$$\frac{l}{hab \cdot día}$$

En entornos urbanos, la cantidad de agua utilizada se define atendiendo a las características y necesidades de los distintos tipos de usuarios. Esta clasificación distingue esencialmente entre consumo doméstico y no doméstico, dependiendo del uso principal que se da al recurso. El agua destinada a fines residenciales, a su vez, se segmenta de acuerdo con los estratos socioeconómicos de los hogares, por ejemplo, alto, medio y bajo, ya que los patrones de consumo varían entre estos grupos. El uso no doméstico contempla actividades como el comercio, la industria y los servicios públicos, y dentro de este último se reconoce una subdivisión entre actividades industriales de servicio y aquellas vinculadas directamente a procesos productivos en fábricas, por ejemplo, en México se tiene la siguiente clasificación (CONAGUA, 2019a) (Figura 78).

Figura 78

Tipos de consumo de acuerdo a tipos de usuarios (CONAGUA, 2019a)



Además, desde una perspectiva de gestión y costos operativos sustentables en las empresas de agua, es crucial identificar formas diferenciadas de cobro para cada tipo de usuario. Establecer tarifas separadas para consumo doméstico, comercial e industrial contribuye a una asignación más justa de costos operativos, incentiva el uso racional del agua y evita que un grupo de usuarios subsidie indirectamente a otro.

Por ejemplo, esquemas tarifarios ajustados al tipo de uso permiten que el sector industrial, que suele tener patrones de consumo más voluminosos y menos elásticos, asuma una parte proporcional de los costos totales del sistema, mientras que las tarifas para uso doméstico pueden diseñarse para proteger a los consumidores vulnerables y promover la sostenibilidad del servicio (Caravaggio et al., 2024).

Dotación en el área rural

Para los diferentes servicios se debe tomar en cuenta las dotaciones que recomienda el SAPYSB en la Tabla 24 (Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento, 1992).

Tabla 24

Dotaciones recomendadas para el área rural de acuerdo con la Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento (1992)

Nivel de servicio	Clima frío (l/hab-día)	Clima cálido (l/hab-día)
Ia	25	30
Ib	50	65
IIa	60	85
IIb	75	100

Dotación en el área urbana y centros universitarios con estudios aplicados con sensores que utilizan la tecnología del Internet de las cosas (IoT)

Las dotaciones para zonas urbanas se encuentran en la Tabla 25, en donde, se considera la población actual y el clima (CPE INEN 05, 1992).

Tabla 25

Dotaciones recomendadas para el área urbana

Población	Clima	Dotación media futura l/hab-día
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 - 160
	Cálido	170 - 200
De 5000 a 50000	Frío	180 - 200
	Templado	190 - 220
	Cálido	200 - 230
Más de 50000	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

Para edificaciones de uso específico, la NEC-11, indica los siguientes valores, presentados en la Tabla 26 (NEC-11, 2011).

Tabla 26

Dotaciones recomendadas para edificaciones de usos específico

Tipo de edificación	Unidad	Dotación
Bloques de viviendas	l/habitante/día	200 a 350
Bares, cafeterías y restaurantes	l/m² área útil/día	40 a 60
Camales y planta de faenamiento	l/cabeza	150 a 300
Cementerios y mausoleos	l/visitante/día	3 a 5
Centro comercial	l/m² área útil/día	15 a 25
Cines, templos y auditorios	l/concurrente/día	5 a 10
Consultorios médicos y clínicas con hospitalización	l/ocupante/día	500 a 1000
Cuarteles	l/persona/día	150 a 350
Escuelas y colegios	l/estudiante/día	20 a 50
Hospitales	l/cama/día	800 a 1300
Hoteles hasta 3 estrellas	l/ocupante/día	150 a 400

Hoteles de 4 estrellas en adelante	l/ocupante/día	350 a 800
Internados, hogar de ancianos y niños	l/ocupante/día	200 a 300
Jardines y ornamentación con recirculación	l/m²/día	2 a 8
Lavanderías y tintorerías	l/kg de ropa	30 a 50
Mercados	l/puesto/día	100 a 500
Oficinas	l/persona/día	50 a 90
Piscinas	l/m² área útil/día	15 a 30
Prisiones	l/persona/día	350 a 600
Salas de fiesta y casinos	l/m² área útil/día	20 a 40
Servicios sanitarios públicos	l/mueble sanitario/día	300
Talleres, industrias y agencias	l/trabajador/jornada	80 a 120
Terminales de autobuses	l/pasajero/día	10 a 15
Universidades	l/estudiante/día	40 a 60
Zonas industriales, agropecuarias y fábricas	l/s/Ha	1 a 2

Según la (NEC-11, 2011) para universidades se recomienda dotaciones entre 40 y 60 l/estudiante-día, sin embargo, de estudios realizados en el campus matriz de la ESPE, en el edificio administrativo, en función de los caudalímetros instalados que utilizan la tecnología del Internet de las Cosas (IoT), se obtuvo una dotación para los trabajadores de 25.16 l/trabajador-día (D.-V. Carrera-Villacrés et al., 2023). Es la mitad de lo recomendado, lo que se comprueba que existe una anomalía.

En lo que respecta a estudiantes en el campus matriz de la ESPE, con la implementación de los caudalímetros IoT, se obtuvieron dotaciones que se encuentran bajo la norma (D. Carrera-Villacrés, Montaño, et al., 2025). En promedio, la dotación del campus matriz de la ESPE resultó de 34.64 l/estudiante-día, inferior a lo mencionado en la NEC-11 (Tabla 27). Los diseños de la infraestructura de agua potable y residual en la ESPE tienen que trabajar con esta información, porque si adoptan otros valores, se va a encarecer la infraestructura de una manera innecesaria.

Tabla 27

Dotaciones de los estudiantes del campus matriz de la ESPE en diferentes periodos académicos

No.	Año	Periodo académico Inicio	Periodo académico final	Dotación l/estudiante-día
1	2021	Mayo	Septiembre	37.46
2	2021-2022	Octubre 2021	Marzo 2022	37.98
3	2023	Mayo	Septiembre	35.57
4	2023-2024	Noviembre 2023	Marzo 2024	27.55

Como conclusiones del trabajo de (D. Carrera-Villacrés, Montaño, et al., 2025), la dotación de los estudiantes del campus matriz de la ESPE tiene una evolución descendente en el tiempo, registrándose dotaciones medias comprendidas entre 27.55 y 39.78 L/persona-día a lo largo de los periodos evaluados. El examen estadístico y cronológico de la información capturada mediante sensores IoT revela que, pese a la normalización gradual de las actividades académicas posteriores a la pandemia, el consumo no recupera los valores considerados en los criterios normativos convencionales, lo que apunta a una transformación sostenida en los hábitos de uso del recurso. Desde una perspectiva analítica, esta disminución se vincula principalmente con factores estructurales, como una ocupación real inferior a la capacidad instalada, la concentración temporal de las jornadas académicas y mejoras en la eficiencia operativa del sistema de abastecimiento, más que con fluctuaciones coyunturales. Adicionalmente, la limitada variabilidad observada entre los promedios Inter periodos sugiere que el sistema ha alcanzado un régimen de consumo estable, claramente inferior a los parámetros tradicionales de diseño, lo que pone en evidencia una posible sobreestimación de la demanda en las dotaciones normativas y refuerza la necesidad de adoptar enfoques de planificación basados en consumos reales y dinámicos, particularmente en contextos universitarios con gestión apoyada en tecnologías IoT.

Ejercicio de aplicación

Determinar si la ciudad de Quito está bien servida con agua potable. Si le ingresan a todas las PTAP 8000 l/s todos los días y la población es de 2 700 000.00 habitantes.

$$Q = \frac{Dot \cdot Pob}{86400}$$

$$Dot = \frac{(Q \cdot 86400)}{Pob}$$

$$Dot = 256 \frac{l}{hab \cdot dia}$$

Debido al cambio climático en el planeta y cambios demográficos, se está adoptando dotaciones óptimas de 100 a 200 l/hab-día (World Health Organization, 2022). Es decir, Quito está bien abastecido con agua, considerando solo el agua que capta y que trata, sin embargo, en promedio, la mitad no va a llegar al usuario final.

Determinación de la dotación en sistemas en operación de agua y alcantarillado con el censo sanitario

El censo sanitario de agua potable es un proceso técnico que permite caracterizar de manera integral las condiciones en las que opera un sistema de abastecimiento, considerando tanto los componentes físicos de la infraestructura como los aspectos sanitarios y operativos asociados al suministro. Mediante el levantamiento sistemático de información en campo se identifican posibles focos de riesgo, limitaciones en la calidad del agua y deficiencias en la prestación del servicio, lo que contribuye a establecer una visión realista del estado del sistema. La información obtenida constituye una base objetiva para la planificación de mejoras, el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico y la implementación de medidas preventivas orientadas a proteger la salud de la población usuaria y asegurar la continuidad del servicio en el mediano y largo plazo (Munamati et al., 2017).

El censo sanitario de agua potable no solo permite evaluar el estado físico y sanitario de los sistemas de abastecimiento, sino que también constituye una base empírica para comprender los patrones reales de uso del agua por parte de la población servida. Al integrar información sobre número de usuarios, continuidad del servicio, tipo de conexiones, hábitos de consumo y condiciones operativas del sistema, es posible estimar dotaciones efectivas que reflejan el comportamiento cotidiano de la demanda, más allá de los valores normativos teóricos. Este enfoque facilita la identificación de diferencias entre dotaciones de diseño y consumos observados, aportando insumos técnicos para ajustar criterios de planificación, operación y gestión del recurso hídrico en

función de las condiciones reales del sistema y de la población abastecida, reduciendo así la incertidumbre asociada a la estimación de la demanda de agua potable (Misati et al., 2017).

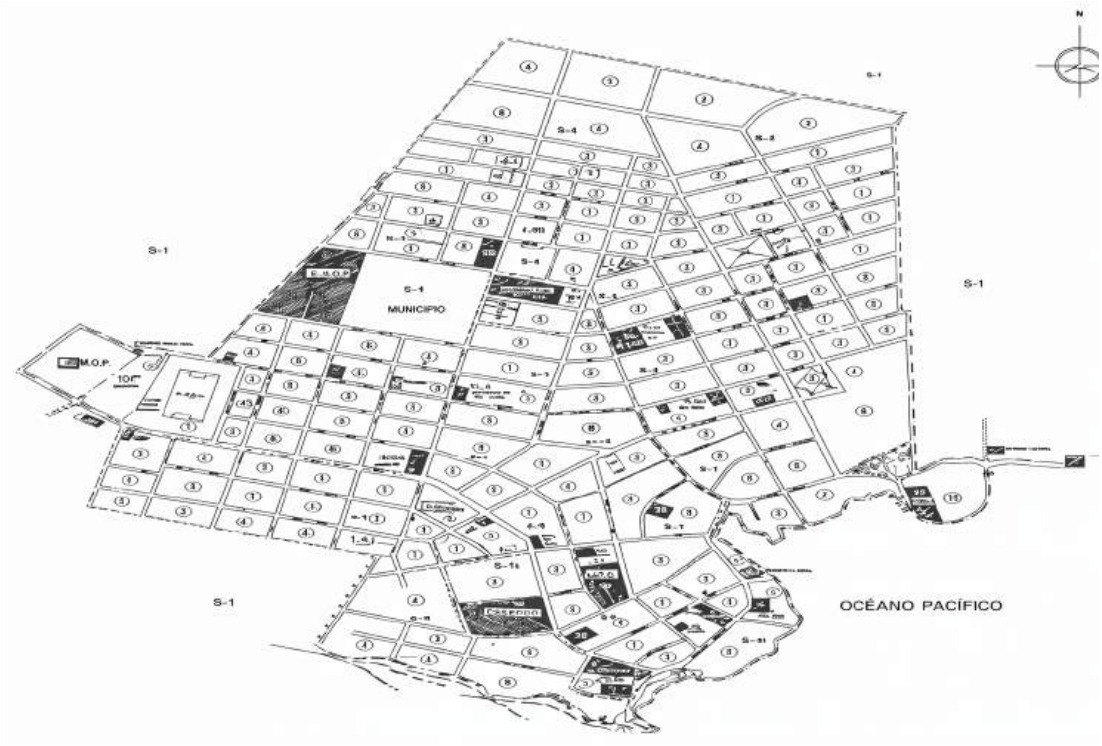
Ejercicio de aplicación de censo sanitario

A continuación, se presentan los pasos que se deberían llevar a cabo para realizar un censo sanitario:

a. Disponer de un mapa general de amanzanamiento de la población a servirse con identificación de calles (Figura 79).

Figura 79

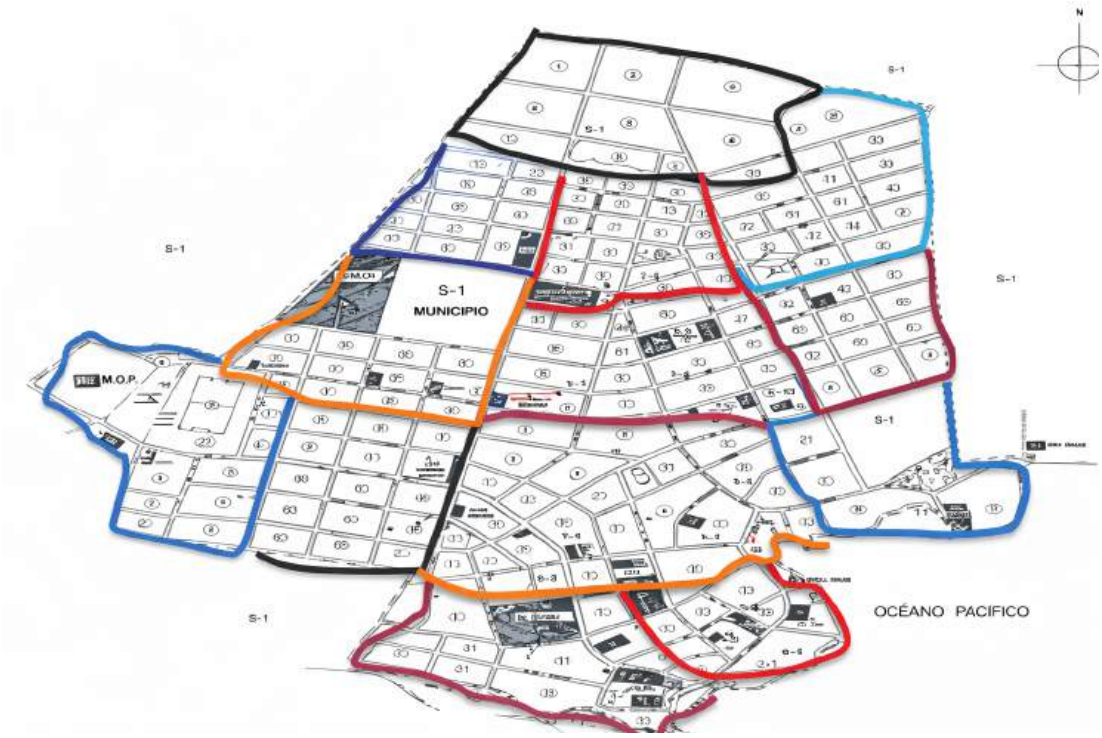
Catastro de la población donde se va a realizar el censo sanitario



b. Ubicación de sectores, parroquias o barrios. Recomendable determinar áreas por barrios, se tiene que apoyar en los líderes o presidentes de cada barrio, que son los más propensos a entregar información del número de habitantes por cada casa (Figura 80).

Figura 80

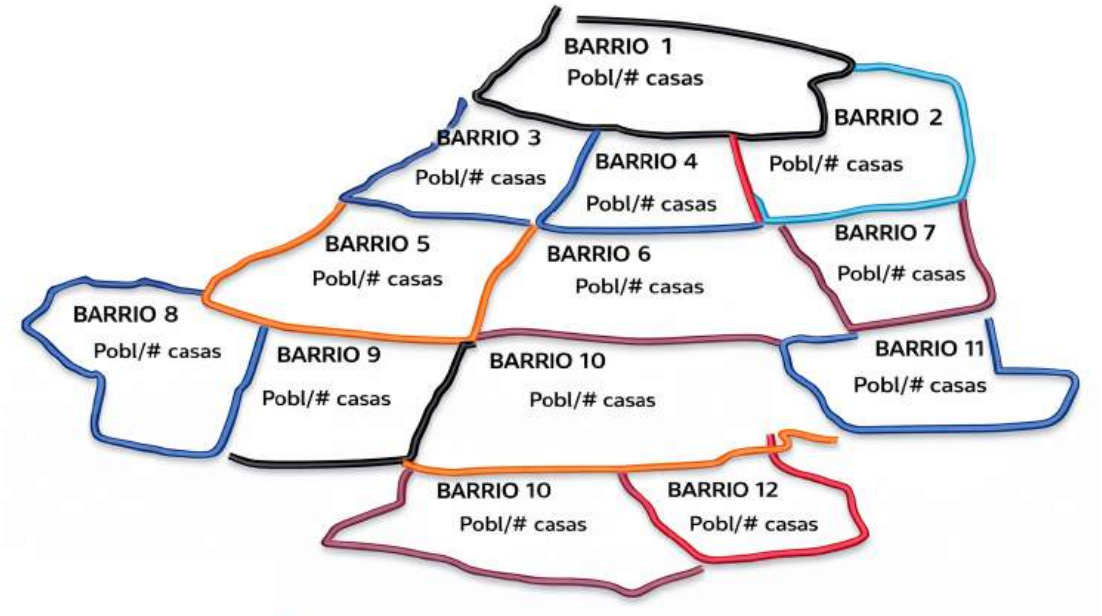
Sectorización que realizan los líderes de los barrios



c. Se continúa con el recuento de los habitantes por cada casa y por cada sector o barrio delimitado por los líderes (Figura 81).

Figura 81

Base de datos que se obtiene del censo sanitario



d. Se realiza un conteo total del número de habitantes por casa y en cada barrio (Tabla 28).

Tabla 28

Censo de acuerdo con la sectorización de los líderes

Barrio	Población Habitantes	Número de casas	Área ha	Densidad (hab/casa)
1	856	142	13	6
2	550	112	8	5
3	345	90	5	4
4	720	138	12	5
5	1300	212	18	6
6	566	115	9	5
7	425	101	6	4
8	632	123	7	5
9	922	199	10	5
10	666	130	8	5
11	720	142	6	5
12	568	115	8	5
13	855	138	12	6

e. Se elabora el cuadro de resumen general de cada barrio, con el número de habitantes, número de casas y el área.

f. Paralelo a la determinación del número total de habitantes por cada casa y por barrios, se efectúa la identificación de los usuarios por cada barrio, con la colaboración del personal que realiza la micro medición, quienes son los que están en constante vinculación con los usuarios y pueden identificar con mayor facilidad.

- f.1- Disponer de un listado de los usuarios potenciales, con un resaltador a color subrayar el nombre del beneficiario de servicio y el consumo promedio mensual.
- f.2- Cada color representa un barrio.
- f.3 Se contabiliza el número de usuarios y el consumo promedio mensual por cada barrio
- f.4- Luego se procede a establecer el nivel de consumo de cada barrio por los valores históricos levantados en el censo.
- f.5 El número de usuarios se obtiene de la contabilización de listado de las planillas con el color asignado a cada barrio y el gasto corresponde al promedio del consumo de todos los usuarios de ese barrio.
- f.6- Para obtener las categorías de consumo, se obtienen del número de usuarios para el gasto.

g. Una vez obtenidas las categorías de consumo por usuario, automáticamente se van agrupando los sectores de acuerdo al gasto. Es recomendable que las categorías sean más de tres (Tabla 29).

Tabla 29

Categorías de consumo que se obtiene con el censo sanitario

Barrio	Usuarios	Gasto (m^3)	Categoría de Consumo (m^3)			
			Hasta 15	15-25	25-30	>30
1	138	10.78	12.35			
2	110	7.56		14.56		
3	91	9.68	9.45			
4	135	9.69	13.95			
5	214	7.21			27.68	
6	112	3.26				34.56
7	99	3.68		24.56		
8	115	5.98			24.65	
9	2007	75.1		23.15		

10	354	6.35		30.87
11	239	8.56	23.65	
12	235	5.21		31.28
13	431	2.98		47.9

h. Finalmente, se tiene una tabla de resumen, con la sectorización real obtenida por los patrones de consumo, que se puede expresar en consumo por mes, dotaciones y densidades, parámetro fundamental en el diseño del drenaje sanitario (Tabla 30).

Tabla 30

Sectorización real obtenida del censo sanitario

Zona	Densidad (hab/casa)	m³/usuario-mes	Dotación (l/hab-día)
1	5.26	11.5	80.56
2	4.32	20.69	150.68
3	5.31	24.65	236.59
4	5.27	33.98	146.27

Con la base de datos generada se puede realizar un análisis estadístico y visualizar la información con el apoyo de un SIG de una manera espacial (Figura 82).

Figura 82

Sectorización real obtenida del censo sanitario



A partir de la población inicial y del área urbana existente, el crecimiento espacial de una localidad puede estimarse de forma consistente cuando se proyecta la población futura para el período óptimo de diseño de los sistemas de agua potable y alcantarillado. Bajo el supuesto de que la densidad urbana tiende a mantenerse relativamente estable en horizontes de planificación intermedios, el incremento poblacional proyectado puede traducirse en una expansión proporcional del área ocupada, ajustada por factores de compacidad, patrones de uso del suelo y restricciones físicas del territorio. De este modo, la población futura no solo permite dimensionar caudales y cargas hidráulicas, sino que también, sirve como variable indirecta para inferir la demanda de nuevo suelo urbano, lo que resulta clave para anticipar la extensión de redes, la localización de infraestructuras y la sostenibilidad del sistema en el largo plazo. Esta aproximación integra la dinámica demográfica con la forma urbana, evitando sobre o sub-dimensionamientos, derivados de considerar la población de manera aislada del crecimiento en territorio (Angel et al., 2011).

Del ejercicio propuesto se tiene el área de expansión asociada al periodo óptimo de diseño y al consumo de agua potable que resultó del censo sanitario (Tabla 31).

Tabla 31

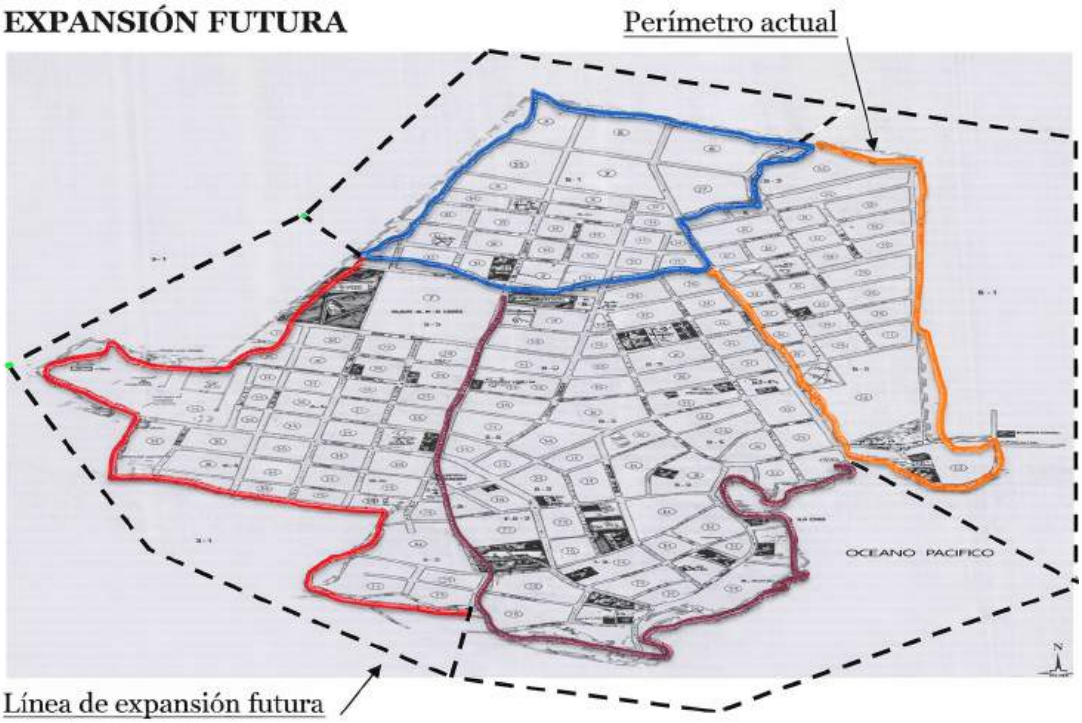
Área de expansión futura de la población en el tiempo del periodo óptimo de diseño y en el patrón de consumo de agua obtenido del censo sanitario

Zona	Población		Área			Densidad
	Actual (Hab)	Futura (Hab)	Actual (ha)	Futura (ha)	Ampliación (ha)	Hab/ha
1	2209	2889	30	39.23	9.23	73.64
2	1949	2629	20	26.97	6.97	97.46
3	3282	3962	35	42.25	7.25	93.77
4	3053	3733	37	45.23	8.23	82.52
TOTAL	10494	11173	122	153.68	31.68	72.70

Finalmente, del ejercicio se tienen en forma espacial la delimitación futura (Figura 83).

Figura 83

Expansión futura de la población en función del periodo óptimo de diseño y el consumo de agua potable obtenido del censo sanitario



Variaciones de consumo

Para proyectos nuevos de agua potable y alcantarillado, las dotaciones se toman de los códigos, de la literatura o de la normativa vigente. Por otro lado, para los sistemas en operación, la dotación se obtiene del censo sanitario. Ambas alternativas intersecan en las variaciones de consumo. En Ecuador, esta información, se tiene para poblaciones rurales y urbanas.

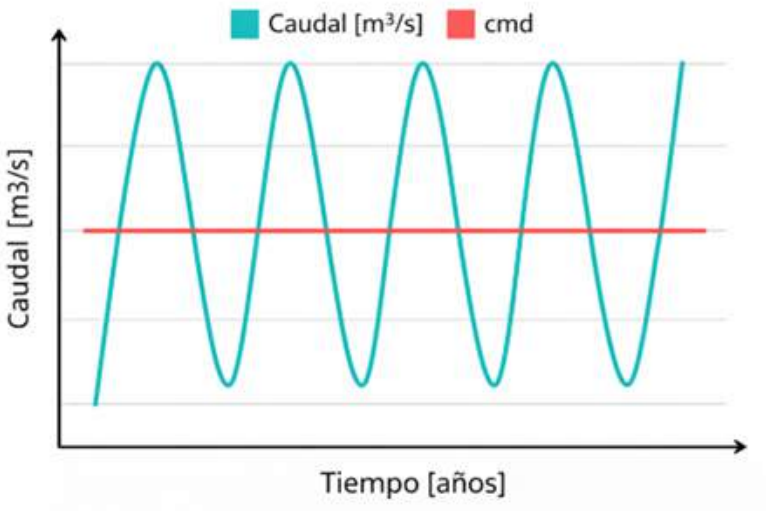
Variaciones de consumo para poblaciones rurales

Caudal Medio Anual Diario (Cmd)

En los sistemas de abastecimiento de agua potable, el caudal medio anual diario se define como el promedio aritmético de todos los caudales diarios medidos durante un año completo, y se utiliza como un valor representativo del volumen diario típico de agua suministrado o demandado por el sistema en condiciones promedio de operación (Alegre et al., 2016). En la Figura 84 se tiene la representación gráfica, las empresas gestoras de agua necesitan tener determinado ese comportamiento.

Figura 84

Caudal medio anual diario de una población cualquiera



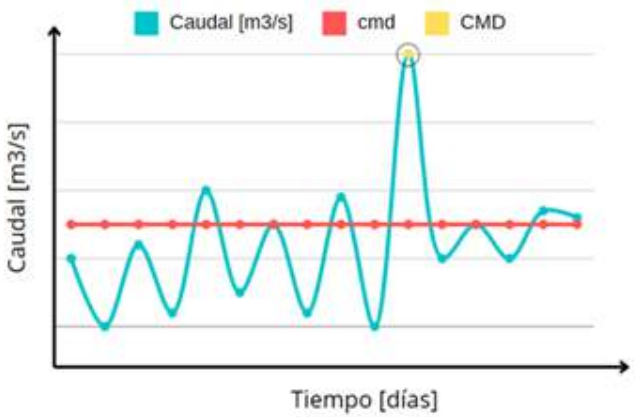
Caudal Máximo Diario (CMD)

En el ámbito del diseño y evaluación de sistemas de abastecimiento de agua potable, el caudal máximo diario se entiende como el volumen medio diario más elevado que puede presentarse dentro de un periodo de análisis determinado, considerando la variabilidad temporal del consumo y los patrones reales de uso de la población servida. Este parámetro refleja la concentración de la demanda diaria en condiciones representativas de mayor exigencia operativa y constituye una referencia fundamental para el dimensionamiento hidráulico de captaciones, líneas de conducción, plantas de tratamiento y reservorios, ya que integra tanto el crecimiento poblacional como los factores de comportamiento y hábitos de consumo que influyen en la demanda máxima sostenida del sistema (Blokker et al., 2010).

En la Figura 85 se tiene la representación gráfica, las empresas gestoras de agua necesitan tener determinado ese comportamiento medido en su infraestructura de agua potable.

Figura 85

Caudal máximo diario de una población cualquiera

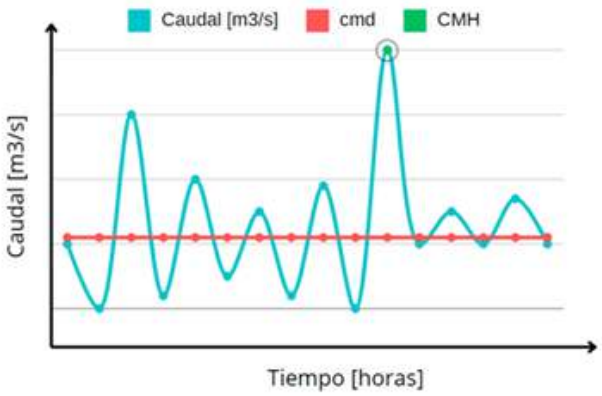


Caudal Máximo Horario (CMH)

En el contexto del diseño y planificación de sistemas de abastecimiento de agua potable, el caudal máximo horario se define como el volumen de agua requerido durante la hora de mayor demanda dentro de un periodo de referencia típico, en el periodo óptimo de diseño, se obtiene multiplicando el caudal medio diario por un factor de demanda máximo horario, un factor pico horario, que representa las fluctuaciones del día en el consumo de agua. Este parámetro explica que el patrón de uso diario no es uniforme y que la infraestructura debe estar dimensionada para responder a la hora pico de consumo, que puede ser significativamente mayor que el promedio horario (Beal & Stewart, 2014). En la Figura 86 se tiene la representación gráfica, las empresas gestoras de agua necesitan tener determinado ese comportamiento medido en su infraestructura de agua potable.

Figura 86

Caudal máximo horario de una población cualquiera



Ejercicio de aplicación de las variaciones de consumo para poblaciones urbanas

Calcular las variaciones de consumo de una población futura urbana de Manabí de 5000 habitantes en donde se va a diseñar un proyecto de agua potable.

RESOLUCIÓN

Bases de diseño de acuerdo con la (CPE INEN 05, 1992) .

1. Nivel de Servicio

Óptimo (No se encuentra especificado en la norma porque supone que para una población urbana el nivel de servicio debe ser el óptimo).

2. Período de servicio óptimo

El periodo óptimo de diseño es de 25 años.

3. Población de diseño

La población de diseño es de 5000 habitantes.

4. Dotación de acuerdo con (CPE INEN 05, 1992)

$$Dr = 170 \frac{l}{hab - día}$$

$$Dotación\ Neta\ (Dn) = \frac{Dr}{(1 - \%ANC)}$$

$$ANC = 20\% - 30\%$$

$$Dn = \frac{170}{(1 - 0.25)} = 266.66 \frac{l}{hab - día}$$

5. Variaciones de Consumo

5.1 Caudal Medio Anual diario (Cmd)

$$Cmd = 266.66 \frac{l}{hab - día} * 5000\ hab * \frac{1\ día}{86400s}$$

$$Cmd = 13.12 \frac{l}{s}$$

5.2 Caudal Máximo Diario (CMD)

$$CMD = KMD * Cmd$$

$$KMD = 1.3\ a\ 1.5$$

$$CMD = 1.4 * 13.12 = 18.37 \frac{l}{s}$$

5.3 Caudal Máximo Horario (CMH)

$$CMH = KMh * Cmd$$

$$KMH = 2 \, a \, 2.3$$

$$CMH = 2.15 * 13.12 = 28.21 \frac{l}{s}$$

Caudales de diseño para proyectos de agua potable en poblaciones rurales

En los sistemas de abastecimiento de agua potable para poblaciones rurales, la determinación de los caudales de diseño constituye una etapa fundamental del proceso de planificación hidráulica, ya que permite dimensionar de manera coherente las captaciones, conducciones, unidades de almacenamiento y redes de distribución. Dichos caudales deben reflejar no solo la demanda promedio asociada al número de habitantes atendidos, sino también, las variaciones temporales del consumo derivadas de los hábitos locales, la estacionalidad climática, las actividades productivas y las condiciones socioeconómicas propias del entorno rural.

En este contexto, el diseño hidráulico requiere considerar factores de incremento que representen los picos de consumo diario y horario, garantizando así la continuidad del servicio y niveles adecuados de presión, sin incurrir en sobredimensionamientos que comprometan la sostenibilidad técnica y económica del sistema (Whittington et al., 2009). En la Tabla 32 se presentan los caudales de diseño para poblaciones rurales en el Ecuador de acuerdo con (Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento, 1992).

Tabla 32

Caudales de diseño de poblaciones rurales de acuerdo con (Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento, 1992).

Obra hidráulica	Caudal de diseño
Fuente de abastecimiento	2 x CMD
Captación	1.2 x CMD
Conducción sin bombeo	1.1 x CMD
Conducción con bombeo	$QB = 1.05 \times CMD \times \frac{24 \, horas}{No. \, horas \, bombeo \, al \, día}$
Tratamiento	1.10 x CMD
Almacenamiento	50% del volumen medio diario futuro
Abastecimientos públicos	Número máximo de 60 personas
Unidades de agua	No mayor a 60 personas para dos llaves de llenado

El consumo de agua varía en función del clima y la región de la población, el consumo doméstico en el medio rural para la bebida, cocina y limpieza 30 l/hab-día, para la eliminación de excretas 40 l/hab-día, y para el aseo personal 30 l/hab-día, es decir, un promedio total de 100 l/hab-día (CONAGUA, 2019a).

Caudales de diseño para proyectos de agua potable en poblaciones urbanas

En los proyectos de abastecimiento de agua potable para poblaciones urbanas, la determinación de los caudales de diseño constituye un elemento central para garantizar la confiabilidad hidráulica, la eficiencia operativa y la sostenibilidad del sistema a lo largo de su vida útil en el periodo óptimo de diseño. Dichos caudales se establecen a partir de la demanda media esperada, ajustada mediante factores de variación temporal que reflejan los patrones horarios y diarios de consumo característicos de contextos urbanos complejos, donde influyen la densidad poblacional, la diversidad de usos del suelo, la actividad económica y las condiciones socioeconómicas. En enfoques contemporáneos, el cálculo de los caudales de diseño incorpora además criterios de resiliencia, gestión de la demanda, y probabilidades de ocurrencia, reconociendo que la variabilidad del consumo y las pérdidas reales del sistema pueden tener un impacto significativo en el dimensionamiento hidráulico (International Association of Plumbing and Mechanical Officials, 2025).

En la Tabla 33 se tienen los caudales de diseño para diferentes obras de infraestructura hidráulica en proyectos de agua potable en Ecuador de acuerdo con la normativa (CPE INEN 05, 1992).

Es necesario mencionar que los valores de la Tabla 32, para sistemas en operación, tienen que medirse in situ y de una manera continua, por ejemplo, de trabajos realizados en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con caudalímetros que se han instalado que utilizan la tecnología del Internet de las Cosas (IoT), en el monitoreo en el mes de febrero del 2025, se tiene el caudal máximo un sábado de 4 l/s, seguramente existió una fuga de agua, y como el personal solo trabaja de lunes a viernes, no se reparó la fuga en ese mismo momento. El caudal mínimo es de 0.24 l/s presentándose todos los días de monitoreo, este probablemente es el caudal de pérdidas de agua, que tendría que ubicarse el lugar para reparar, así mismo, en ese mes se tiene un caudal promedio de 1.25 l/s.

Tabla 33

Caudales de diseño para los elementos de agua potable de acuerdo con (CPE INEN 05, 1992).

Obra hidráulica	Caudal de diseño	
Captación de aguas superficiales	120 x CMD	
Captación de aguas subterráneas	1.05 x CMD	
Conducción de aguas superficiales	1.10 x CMD	
Conducción de aguas subterráneas	1.05 x CMD	
Red de distribución	CMH + Caudal de incendios	
Planta de tratamiento	1.10 x CMD	
Volumen de almacenamiento	Volumen de regulación (VR)	Para poblaciones menores a 5000 habitantes, se tomará para el volumen de regulación el 30% del volumen consumido en un día considerando la demanda media diaria al final del periodo de diseño. Para poblaciones mayores a 5000 habitantes, se tomará para el volumen de regulación el 25 % del volumen consumido en un día considerando la demanda media diaria al final del periodo de diseño.
	Volumen de protección contra incendios (VI)	Para poblaciones de hasta 3000 habitantes futuros en la costa y 5000 en la sierra, no se considera almacenamiento para incendios. Para poblaciones de hasta 20,000 habitantes futuros se aplicará la fórmula $V_I = 50 \times \sqrt{P}$, en m³, la población en miles. Para poblaciones de más de 20,000 habitantes futuros se aplicará la fórmula $V_I = 100 \times \sqrt{P}$, en m³, la población en miles.
	Volumen de emergencia (VE)	Para poblaciones mayores de 5000 habitantes, se tomará el 25% del volumen de regulación como el volumen para cubrir situaciones de emergencia. Para comunidades con menos de 5000 habitantes no se calculará ningún volumen de emergencia.
	Volumen en la planta de tratamiento (VPTAR)	Solo en el caso de que la PTAP esté después del tanque de distribución. Típico de ciudades en el llano en donde se tendrá que diseñar primero la planta para agregarle el agua que requiere cada unidad al tanque de distribución.
	Volumen Total (VT) = VR+VI+VE+VPTAR	

Los coeficientes de variación y los caudales de diseño de acuerdo con la normativa de México se presentan en la Tabla 33. Donde Q_{med} es el gasto medio anual diario (CONAGUA, 2019a).

Tabla 34

Coeficiente de variación y caudales de diseño de proyectos de agua potable de acuerdo con (CONAGUA, 2019a).

Concepto	Valor	Gasto Máximo Diario (Q_{MD})	Gasto Máximo Horario (Q_{MH})	Tipo de estructura	Diseño con Q_{MD}	Diseño con Q_{MH}
Coeficiente de variación diaria (C_{vd}).	1.20 a 1.40	$Q_{MD} = CV_d \times Q_{med}$		Obra de captación.	X	
Coeficiente de variación horaria (C_{vh}).	1.55		$Q_{MH} = CV_h \times Q_{med}$	Línea de conducción antes del tanque de regulación.	X	
				Tanque de regulación.	X	
				Línea de alimentación a la red.		X
				Red de distribución.		X

Calcular los caudales de diseño de una población futura urbana de Manabí de 5000 habitantes en donde se va a diseñar un proyecto de agua potable

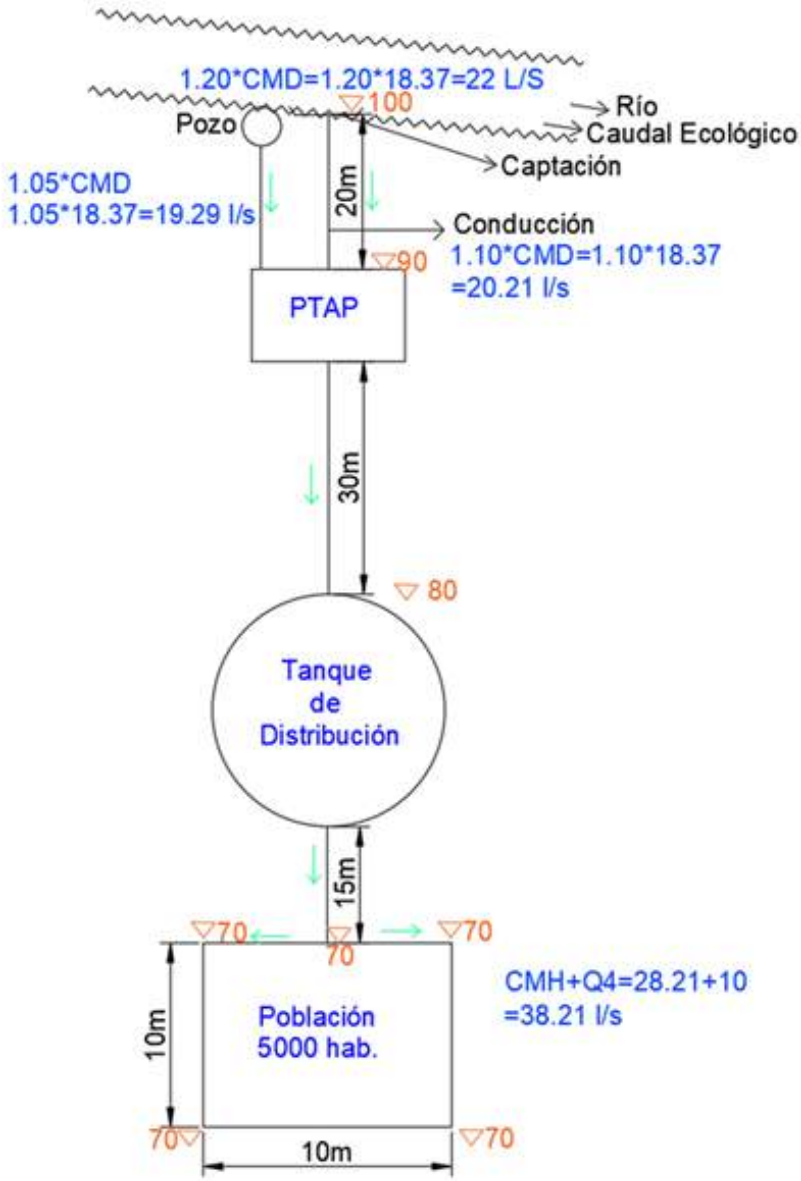
Los caudales de diseño del proyecto de agua potable de la población futura de Manabí de 5000 habitantes se los va a calcular de acuerdo con la normativa del Ecuador (CPE INEN 05, 1992). En la Figura 88 se presenta la esqueletización con los caudales de diseño de cada elemento del proyecto de agua potable.

En los proyectos de abastecimiento de agua potable, la esqueletización de redes de agua potable constituye una etapa clave previa a la modelación hidráulica, ya que permite transformar una red física compleja, obtenida desde la topografía, en una representación simplificada sin perder su comportamiento hidráulico. Este proceso consiste en depurar la topología original mediante

la eliminación o consolidación de tramos secundarios, ramales de baja demanda y elementos redundantes, conservando los nodos estratégicos, las conducciones principales y las condiciones operativas relevantes. La esqueletización facilita la compatibilidad de la red con los softwares de simulación hidráulica, reduce los tiempos de cálculo y mejora la estabilidad numérica de los modelos, manteniendo una adecuada correspondencia entre caudales, presiones y pérdidas de carga (Saldarriaga et al., 2009).

Figura 87

Esqueletización de la red de agua potable con suministro de una cuenca hidrográfica superficial de una población futura de Manabí de 5000 habitantes.



1. Cálculo del caudal medio anual diario (Cmd)

$$266.67\frac{l}{hab-día}*5000\ hab*\frac{1\ día}{86400s}=13.12\frac{l}{s}$$

2. Cálculo del caudal máximo diario (CMD)

CMD = 1.3 a 1.5 x Cmd = 1.4 x 13.12 = 18.37 l/s

3. Cálculo del caudal máximo horario (CMH)

CMH = 2 a 2.3 x Cmd = 2.15 x 13.12 = 28.21 l/s

4. Cálculo del volumen del tanque de distribución

4.1. Volumen de regulación (VR)

$$VR=13.12\frac{l}{s}*\frac{86400s}{1\ día}*\frac{1m^3}{1000l}*0.25$$

$$VR=283.39\frac{m^3}{día}$$

4.2. Volumen de incendios (VI)

$$VI=50\sqrt{p}=50\sqrt{5}$$

$$VI=111.8\ m^3$$

4.3. Volumen de emergencias (VE)

$$VE=\frac{VR}{4}=\frac{283.39}{4}$$

$$VE=70.85\ m^3$$

5. Volumen Total (VT)

$$VT=VR+VI+VE$$

$$VT=283.39+111.8+70.85$$

$$\boldsymbol{VT=466.04\frac{m^3}{día}}$$

6. Diseño hidráulico del tanque de distribución

$$V = A * H$$

Por lo general, un tanque de distribución tiene una altura máxima de 5 a 6 m; más allá de eso, es una construcción costosa. Para el ejercicio se toma una altura promedio de 2.50 m.

$$H = 2.50m$$

$$A = \frac{466.04m^3}{2.50\,m} = 186.42\,m^2$$

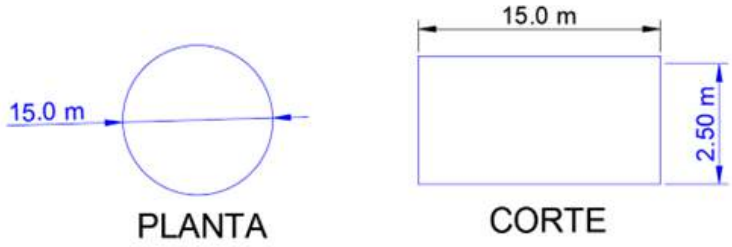
$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \left(\frac{(4 * A)}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

La forma estructural para las presiones de agua es la circular, por consiguiente, se tiene un diámetro de 15.0 m. En la Figura 88 se tiene el detalle de diseño hidráulico del tanque de distribución.

Figura 88

Detalle en planta y en corte del diseño hidráulico del tanque de distribución sin escala

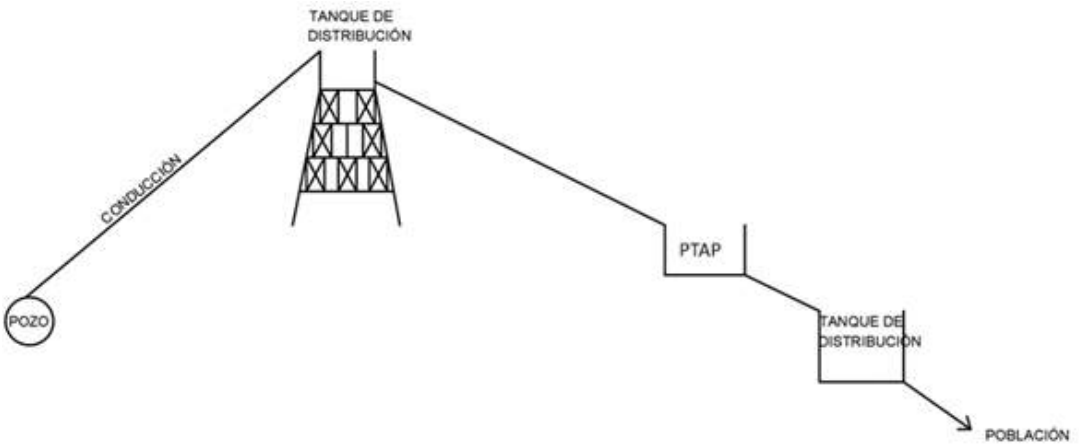


7. Dimensionamiento del tanque de distribución en el caso de que la fuente sea un pozo

En la Figura 89 se tiene el esquema de abastecimiento de agua desde un pozo.

Figura 89

Esquema en perfil de un sistema de distribución de agua desde un pozo, sin escala



Tanques de distribución

Los tanques de almacenamiento constituyen un componente estratégico dentro de los sistemas de distribución de agua potable, ya que permiten estabilizar tanto el volumen disponible como las condiciones de presión en la red. Su función principal es actuar como un elemento de compensación entre la oferta y la demanda, garantizando la continuidad del servicio ante variaciones temporales del consumo. Desde el punto de vista constructivo, estos pueden clasificarse en tanques superficiales y tanques elevados. Los primeros suelen implementarse cuando existen cotas topográficas favorables próximas al área de servicio, mientras que los segundos permiten generar presión mediante la elevación del nivel de agua. En términos hidráulicos, los tanques pueden operar con conducciones independientes de entrada y salida o mediante una única tubería que cumple ambas funciones (Walski et al., 2003).

Al garantizar la cantidad y la presión de agua disponible en la red, los depósitos o tanques son esenciales para los sistemas de distribución de agua. Estos tanques pueden ser superficiales o elevados según su estructura. “En áreas cercanas al área de servicio, los tanques superficiales son preferidos porque suelen tener tuberías separadas para la entrada (línea de conducción) y la salida (línea de alimentación) (CONAGUA, 2019c).

Clasificación de tanques

De acuerdo con (CONAGUA, 2019c) los tanques se clasifican de la siguiente manera.

1. Tanques enterrados. Existen tanques que, por ciertas condiciones del proyecto, deben construirse bajo tierra mediante una excavación del volumen necesario y a la cota adecuada para mantener el correcto funcionamiento de la red, con presiones diseñadas que no sean muy elevadas ni muy bajas para el flujo del agua. Una de las dificultades de estos tanques es su construcción y posterior control de fugas de agua en su interior que produzcan filtraciones o desperdicio.
2. Tanques semienterrados. En este tipo de tanques no todo su volumen está bajo tierra, si no que se puede enterrar una sola parte de el para fines de diseño, ya sea por su cota o por la naturaleza del terreno donde se construye, generalmente los obstáculos en la topografía son la principal causa para usar esos tanques.
3. Tanques superficiales. Estos tanques son los más comunes de utilizar, cuando el suelo presta las condiciones apropiadas y no es necesario disminuir la cota de elevación del mismo, entonces un tanque superficial sería la opción más adecuada. Se establece de manera general que la altura máxima a la que puede servir el tanque es de 15 metros, y el punto mínimo se encuentra a 50 m por debajo.
4. Tanques elevados. Cuando la topografía del terreno es plana y se necesitan sistemas que trabajen a gravedad, los tanques elevados son la opción más adecuada, estos normalmente se construyen con alturas de hasta 15 metros sobre el nivel natural de la tierra.

Una manera de mejorar la eficiencia del uso de estos tanques es colocarlos cerca de donde se van a usar a alturas de 10 a 20 metros, variando en intervalos de 5 metros. Para mantener presiones uniformes se puede usar un conjunto de varios tanques cuando el área a servir de una población es extensa, entonces no se tendrá presiones ni muy elevadas en zonas cercanas al tanque, cuando es uno solo, ni presiones muy bajas en los hogares más distantes.

Comparación de volumen de Tanque de Distribución

El volumen se va a comparar de acuerdo con las normas de Ecuador, (CPE INEN 05, 1992) y la de México (CONAGUA, 2019a) con un ejercicio de aplicación.

Ejercicio:

Calcular el volumen de un tanque de almacenamiento, de acuerdo las variaciones de consumo y los caudales de diseño de una población futura urbana de Manabí de 5000 habitantes en donde se va a diseñar un proyecto de agua potable

Datos:

Población: 5000 habitantes

El volumen total calculado de acuerdo con (CPE INEN 05, 1992) resultó de 466.04 m³/día como se indican en la ecuación a continuación.

$$VT = VR + VI + VE$$

$$VT = 283.39 + 111.8 + 70.85$$

$$\boldsymbol{VT = 466.04 \frac{m^3}{día}}$$

Ahora, con la metodología indicada por (CONAGUA, 2019a), un tanque de regulación se diseña para el gasto máximo diario (CMD). En la Tabla 35 se presenta el tipo de estructura y los gastos con los que se diseña de acuerdo a la normativa de México.

Tabla 35

Gastos de diseño para estructuras de agua potable de acuerdo con el MAPAS de CONAGUA de México

Tipo de estructura	Diseño con gasto máximo diario	Diseño con gasto máximo horario
Obra de captación	X	
Línea de conducción antes del tanque de regulación	X	
Tanque de regulación	X	
Línea de alimentación a la red		X
Red de distribución		X

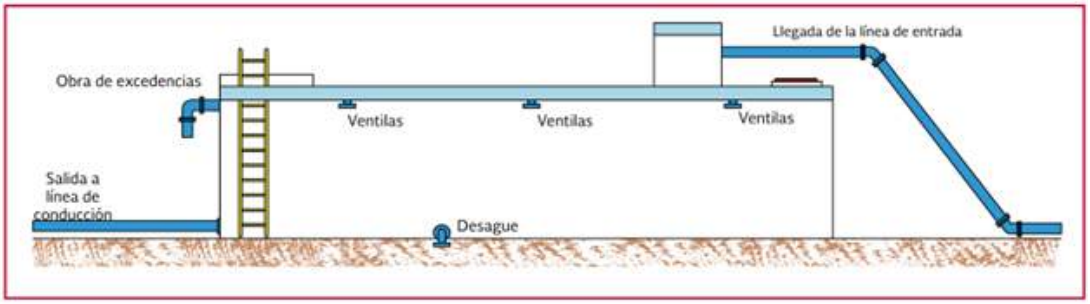
El CMD resultó de 18.37 l/s, ese gasto en un día se tiene un volumen de 1616 m^3.

$$18.37\frac{l}{s} * \frac{1\ m^3}{1000\ l} * \frac{86400\ s}{1\ día} = 1616\ \frac{m^3}{día}$$

En el libro (CONAGUA, 2019c) se tiene un capítulo donde explica los tipos de tanques, accesorios, válvulas con sus cajas, explicando su funcionamiento con plano de detalles. De ese documento se tiene la Figura 90.

Figura 90

Tanque superficial (CONAGUA, 2019c).

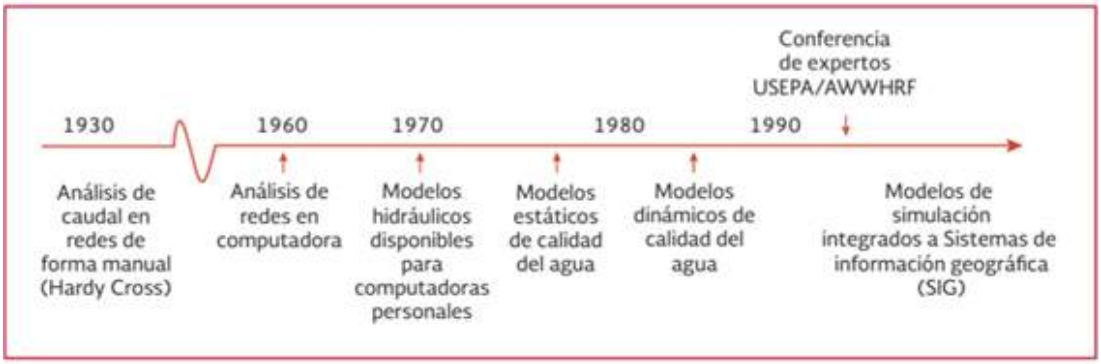


Modelación matemática aplicada a redes de distribución de agua potable

El uso de modelos matemáticos para el análisis de sistemas de distribución de agua potable fue propuesto por primera vez por Hardy Cross en 1936. En la Figura 91 se presenta una línea de tiempo del desarrollo de los modelos de simulación matemática desde el año 1930 a la actualidad (CONAGUA, 2019d).

Figura 91

Desarrollo histórico de simulación matemática aplicados a redes de distribución de redes de agua potable (CONAGUA, 2019d).



Estructuración del modelo hidráulico

De acuerdo con (CONAGUA, 2019d) entre las técnicas más utilizadas para simplificar la red real para su uso en aplicaciones de análisis y diseño se tiene lo siguiente:

- Unificación de nodos próximos.
- Asociación de tuberías en serie.
- Asociación de tuberías paralelas.
- Eliminación de ramales, sustituyéndolos por su consumo en el punto de conexión con la red
- Eliminación de tuberías de distribución de pequeño diámetro.

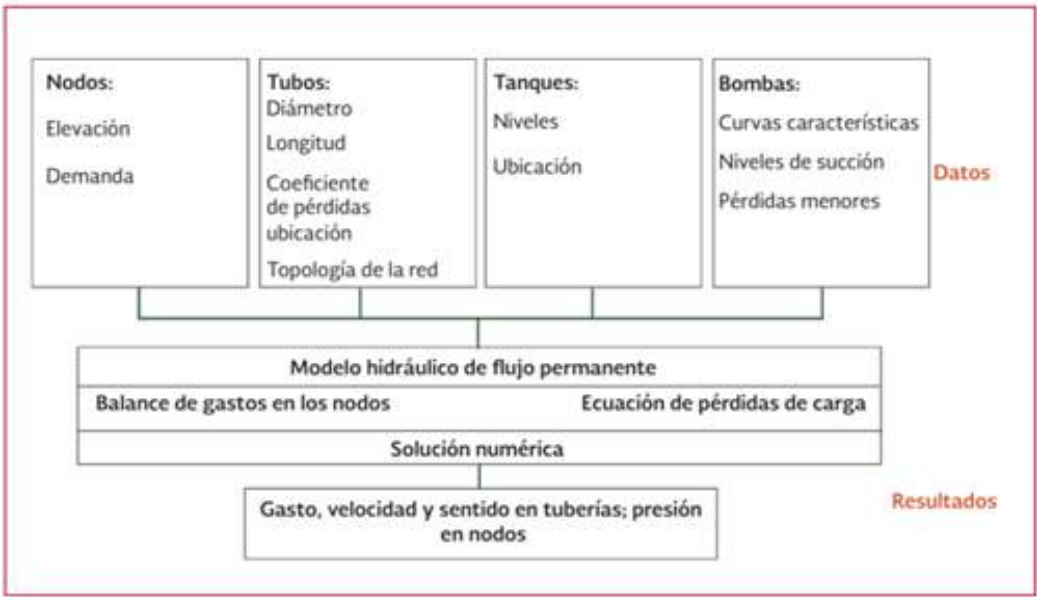
Modelos hidráulicos en función del tiempo

Cuando se tiene el modelo que no cambia con el tiempo, se dice que se encuentra en el estado estacionario o de flujo permanente, se lo dimensiona con los caudales de diseño calculados con los factores de mayoración.

En la Figura 92 se tiene el diagrama de flujo de cómo se tiene que generar el modelo hidráulico para el estado estacional mencionado por (CONAGUA, 2019d).

Figura 92

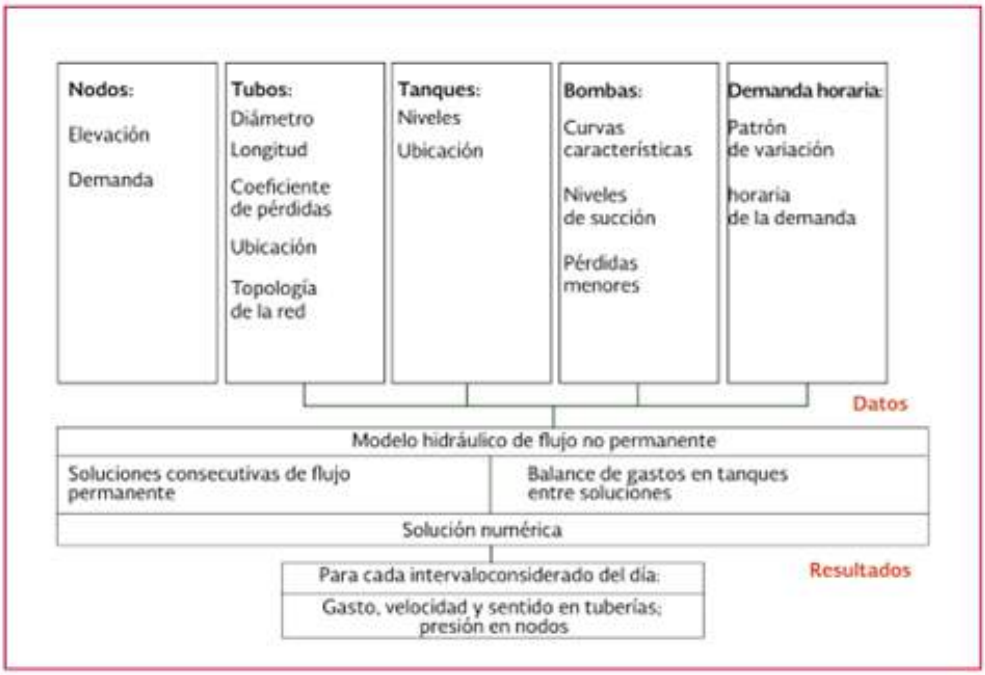
Diagrama de un modelo hidráulico de flujo permanente (CONAGUA, 2019d).



A diferencia de los modelos de flujo permanente, se tienen los dinámicos o de flujo no permanente; se permite la variación temporal de los caudales demandados, de las condiciones operativas de la red y de los niveles en los tanques. Consideran bajo ciertas restricciones, simular la evolución temporal de la red, en un intervalo determinado.

Figura 93

Diagrama de un modelo hidráulico de flujo no permanente (CONAGUA, 2019d).



Ejemplo práctico del modelo hidráulico en flujo permanente y no permanente que se realizó en la infraestructura de agua potable de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Narvaez-Terán & Vaca-Lescano, (2023) analizaron de manera integral el comportamiento hidráulico de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario del campus matriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, incorporando tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) y herramientas avanzadas de modelación hidráulica. El estudio se desarrolló entre octubre de 2022 y febrero de 2023 y tuvo como eje central la medición en tiempo real de caudales, la actualización del catastro hidrosanitario y la simulación de los regímenes permanente y no permanente mediante los programas WaterCAD y SewerCAD con licencia académica que proporciona Bentley.

Uno de los principales aportes del trabajo fue la implementación de un segundo caudalímetro con tecnología IoT en los bloques A–B del campus, complementando el dispositivo previamente instalado en el edificio administrativo. Estos equipos permitieron registrar caudales y volúmenes acumulados de agua potable y residual, generando series temporales confiables que sirvieron como insumo para la modelación hidráulica. La información recolectada se transmitió a plataformas en la nube, facilitando el monitoreo continuo del consumo y fortaleciendo el enfoque de "Smart Water University".

Paralelamente, se ejecutó un levantamiento detallado del catastro hidrosanitario del campus, identificando tuberías, diámetros, accesorios, nodos de consumo y puntos críticos de la red. Este proceso evidenció que gran parte de la infraestructura tiene más de tres décadas de funcionamiento, lo que explica la presencia de deterioro, pérdidas de presión y un volumen significativo de agua no contabilizada. Las campañas de medición incluyeron registros de presión en la red de agua potable, aforos en puntos estratégicos del alcantarillado y el análisis dinámico del nivel de la cisterna principal, lo que permitió estimar el consumo total del campus. Todos estos trabajos se realizaron en campañas manuales de monitoreo.

Con base en los datos medidos, se desarrollaron modelos hidráulicos simplificados pero representativos en régimen permanente y no permanente. En el caso del agua potable, la simulación permitió identificar sectores con caídas de presión y posibles fugas, mientras que, para el sistema sanitario, se analizaron los caudales evacuados al alcantarillado público y su variabilidad horaria. Los resultados mostraron que las condiciones reales de operación difieren de los supuestos tradicionales de diseño, lo que confirma la necesidad de ajustar los modelos hidráulicos a datos empíricos obtenidos en tiempo real.

Un hallazgo relevante fue la identificación de pérdidas asociadas a aguas no contabilizadas, vinculadas principalmente al envejecimiento de la red y a deficiencias en la medición. A partir de este diagnóstico, se planteó un sistema óptimo de gestión basado en la expansión progresiva de dispositivos IoT en los edificios del campus, el monitoreo centralizado de la red y la toma de decisiones sustentada en datos.

A continuación, se presenta cómo se desarrolló el modelamiento en régimen permanente y no permanente, utilizando el software Watercad de Bentley con licencia académica, elaborado por (Narvaez-Terán & Vaca-Lescano, 2023), para una población rural.

1- Previo a la modelación en WaterCAD

1.1- Cálculo de caudales

1.1.1- Dotación

Considere una población de 850 habitantes en la región sierra del Ecuador con un clima frío y una dotación de 75 l/hab-día.

1.1.1.1- Cálculo de caudal medio

$$Qm = \frac{f * (P * D)}{86400}$$

$$Qm = \frac{1{,}20 * (850\ hab * 75 \frac{l}{hab * dia})}{86400}$$

$$Qm = 0{,}885\ l/s$$

1.1.1.2- Caudal máximo diario

$$QMD = KMD * Qm$$

$$QMD = 1{,}25 * 0{,}885$$

$$QMD = 1{,}11\ l/s$$

1.1.1.3- Caudal máximo horario

$$QMH = KMH * Qm$$

$$QMH = 3 * 0{,}885$$

$$QMH = 2{,}66\ l/s$$

$$QMH = 2{,}66 \frac{l}{s} * 60 \frac{s}{min} = 159{,}3\ l/min$$

1.1.1.4- Íconos utilizados en la modelación

	Los cálculos dependen de una variedad de parámetros que usted puede configurar.
	Cálculo de la red de distribución de agua potable
	Determina si el modelo se encuentra en buen estado.
	Elementos de la red de agua potable
	Las demandas dependen de las características físicas o geográficas del entorno de la red de agua potable

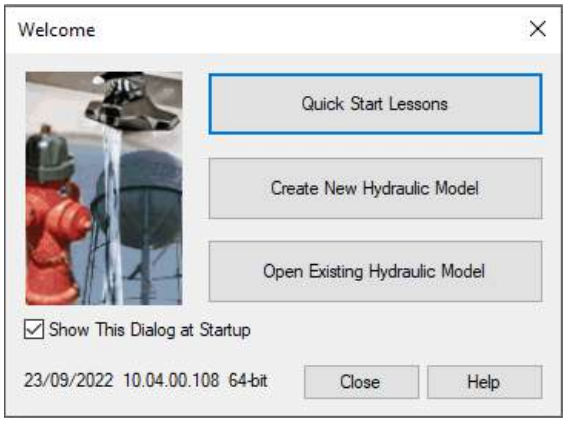
Graphs	Gráfica los resultados hidráulicos de las capas del modelo.
FlexTables	Las características de los elementos del modelo se reflejan y se modifican
Pipe	Capa de tubería
Junction	Junta o nodo
Tank	Tanque
Reservoir	Reservorio
Pump	Bomba
PRV	Válvula
Zones	El administrador de zonas le permite manipular las zonas de forma rápida y sencilla.
LoadBuilder	El administrador de LoadBuilder proporciona una ubicación central para la creación, el almacenamiento y la administración de las plantillas de Load Build.

2- Modelación en régimen permanente

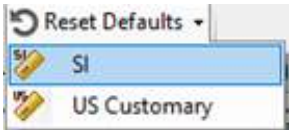
2.1- Nuevo Modelo

2.2- Iniciar Watercad

2.2.1- En la ventana de bienvenida hacer clic en Crear un nuevo modelo hidráulico.

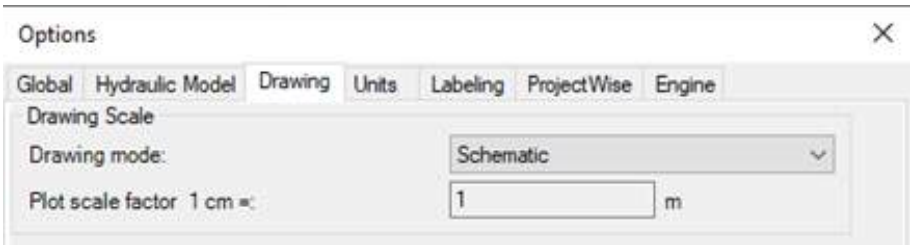


2.2.2- Seleccionar Herramientas > Mas > Opciones, dar clic en Unidades. Debido a que se está trabajando en el Sistema Internacional de unidades (SI) dar clic en Restablecer predeterminados y seleccionar SI.



2.2.3- Asegurarse de Sistemas de unidades predeterminados para nuevos modelos hidráulicos se encuentre en SI.

2.2.4- Dar clic en la pestaña Dibujo para asegurarse de que el dibujo esté configurado en escala. Establecer el factor de escala como esquemático



2.2.5- Clic en OK.

2.2.6- Seleccionar Archivo > Guardar como.

2.2.7- Ingresar el nombre del documento ModeloAP y dar clic en Guardar.

2.2.8- Diseño de la Red

Seleccione Capas en la pestaña y continúe con las instrucciones para trazar la Red de agua potable. La red de tuberías debe seguir el mismo orden y cualquier variación se debe modificar haciendo clic derecho sobre el elemento y modificando la etiqueta en Administrador de propiedades.

2.2.9- Diríjase al área de dibujo, haga clic derecho y seleccione Reservorio.

2.2.9.1- Dar clic para colocar el reservorio R-1 a la izquierda de la conexión de agua Extensiones de zoom existente.

2.2.9.2- Dar clic derecho para seleccionar Junta en el menú y dar clic para colocar la junta J-1

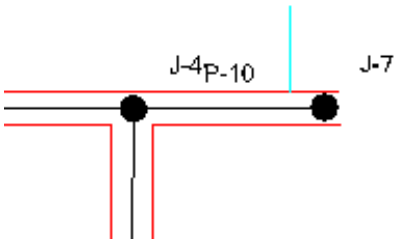
2.2.9.3- Clic en las demás juntas para dibujar automáticamente P-1, P-2, P-3 hasta volver a J-1.

2.2.9.4- Clic derecho y seleccionar Aceptar.

2.2.9.5- Volver a seleccionar Capas en la pestaña principal.

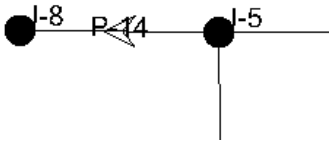
2.2.9.6- Clic sobre J-4 y mueva el cursor hasta el punto J-7 y dar un clic, entonces se insertará J-7 y P-10.

2.2.9.7- Vuelva a dar un clic derecho y seleccione Aceptar en el menú.

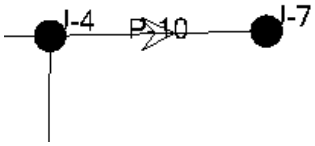


2.2.9.8- Seleccione nuevamente la herramienta Capas.

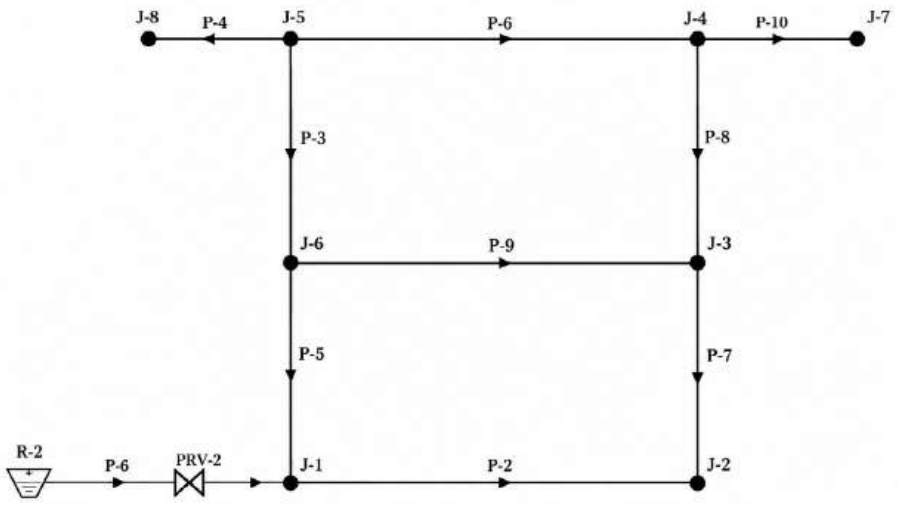
2.2.9.9- Dar clic en la ubicación de J-8 y se insertará J-8 y P-14. Clic derecho y escoger Aceptar



2.2.9.10- Asegurarse de colocar las tuberías en orden tal y como se muestra en el diagrama.



2.2.9.11- El modelo resulta de la siguiente manera:



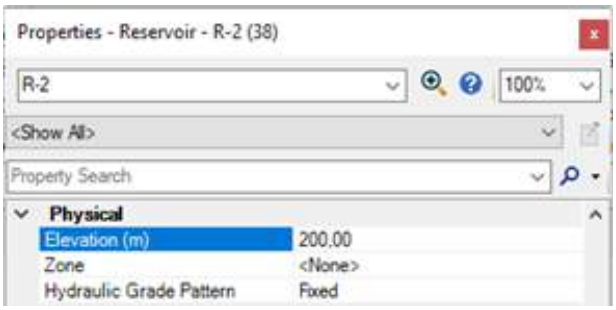
2.2.9.12- Guarde el modelo dando clic en el ícono Guardar o ir a la pestaña Archivo > Guardar.

2.2.10 - Entrada y modificación de datos (Elevación, diámetro y longitud).

- Editor de propiedades: puede utilizar la herramienta Seleccionar y hacer doble clic en un elemento para abrir su Editor de propiedades. En AutoCAD, haga clic en el elemento una vez con Seleccionar herramienta para abrir el editor de elementos
- FlexTables: puede hacer clic en FlexTables para que aparezcan tablas dinámicas que permiten editar y mostrar los datos del modelo en un formato tabular. Puede editar los datos como lo harías en una hoja de cálculo
- Editores alternativos: las alternativas se utilizan para ingresar datos para diferentes "¿Qué pasaría si?" situaciones utilizadas en la gestión de escenarios.

Para poder acceder a las propiedades de elementos en WaterCAD dar doble clic en el elemento.

2.2.11- Abrir Editor de propiedades de reservorio para reservorio R-2 dando un doble clic sobre el reservorio R-2.



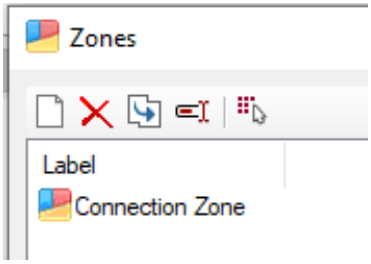
2.2.11.1- Ingresar una elevación de 200 m.

2.2.11.2- Establecer zona en Zona de Conexión

2.2.11.2.1- Dar clic en el menú para Editar Zonas que abre el Administrador de zonas.

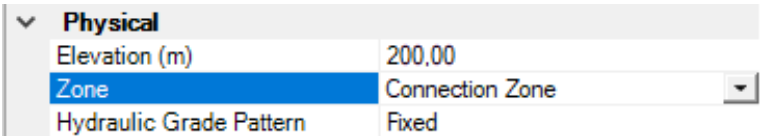
2.2.11.2.2- Dar clic en Nuevo.

2.2.11.2.3- Ingrese una etiqueta para la nueva zona de presión llamada Zona de conexión



2.2.11.2.4- Cerrar la ventana

2.2.11.2.5- Seleccione la zona creada a partir de Menú de zona



2.2.11.2.6- Cerrar el editor de propiedades de reservorio

2.2.11.2.7- Debe establecer la Zona de conexión en el administrador de zonas como se describió anteriormente.

2.2.12- Doble clic en PRV-1 e ingresar los siguientes datos:

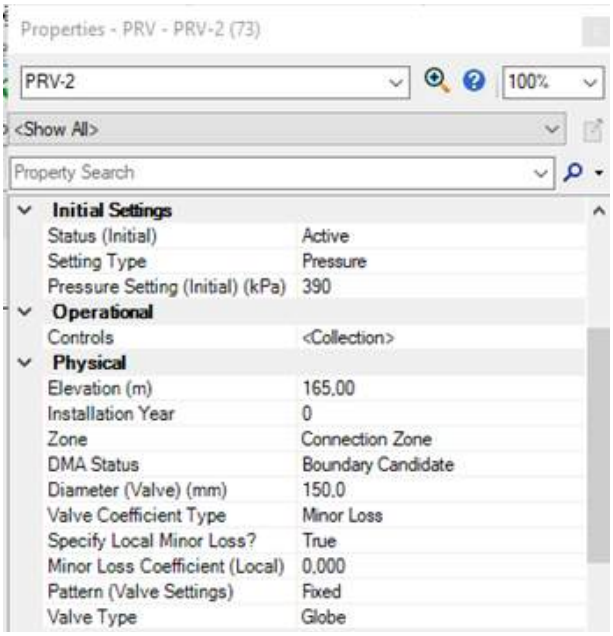
Status (inicial) = Activo

Tipo de configuración = Presión

Configuración de presión (inicial) = 390 kPa

Elevación = 165m

Diámetro (válvula)=150mm



2.2.12.1- Cerrar el editor de propiedades PRV

2.2.13 - Ingresar las elevaciones y las zonas para todas las juntas.

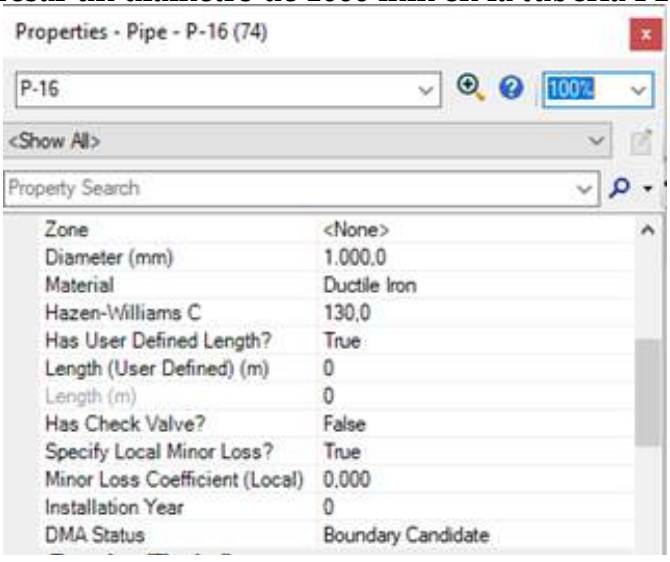
Junta	Elevación del terreno (m)	Zona
J-1	184	Zona de conexión
J-2	185	Zona de conexión
J-3	183	Zona de conexión
J-4	184	Zona de conexión
J-5	183	Zona de conexión
J-6	183	Zona de conexión
J-7	185,5	Zona de conexión
J-8	165	Zona de conexión

2.2.14- Ingresar las longitudes de cada tubería desde P-1 hasta P-17

2.2.14.1- Abrir el editor de propiedades de tuberías dando doble clic en la tubería P-1.

2.2.14.2- Seleccionar verdadero en ¿Tiene longitud definida por el usuario? Ingresar la longitud de 0,01 m debido a que se usa el depósito y la bomba para simular la conexión a la red principal, el usuario debe despreciar las pérdidas en las tuberías.

2.2.14.3- Ingresar un diámetro de 1000 mm en la tubería P1.



2.2.14.4- Cambiar las longitudes de las tuberías desde la tubería P-10 hasta la tubería P-13 como se muestran:

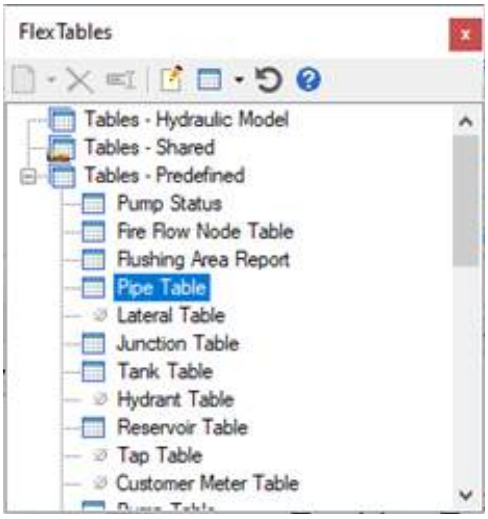
P-10 = 400 m

P-14 = 521 m

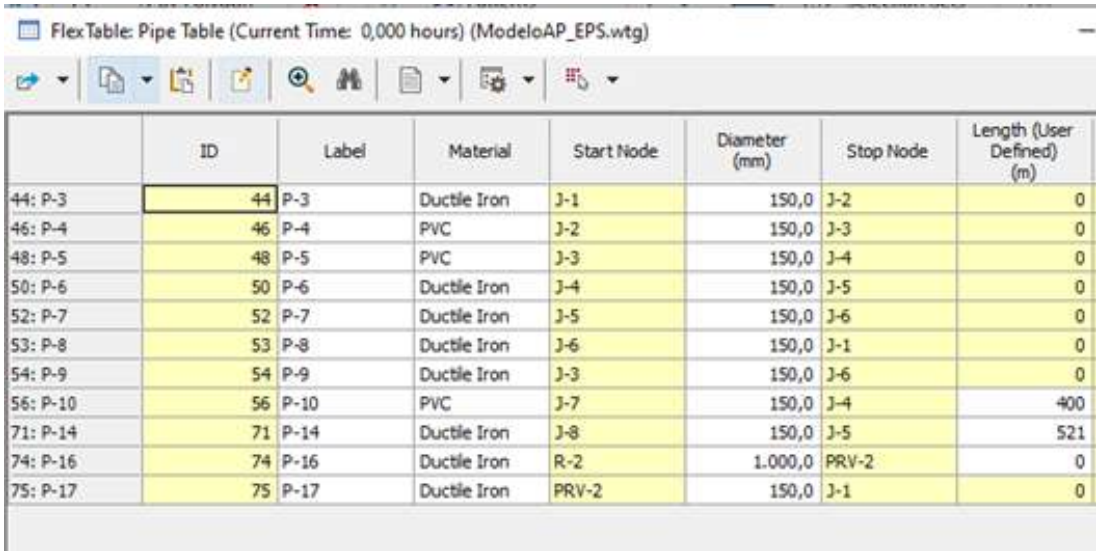
2.2.14.5- Cerrar el editor de tuberías

3- Ingreso de datos a través de Tablas flexibles

3.1- Clic en el icono de Tablas flexibles en la pestaña Home.

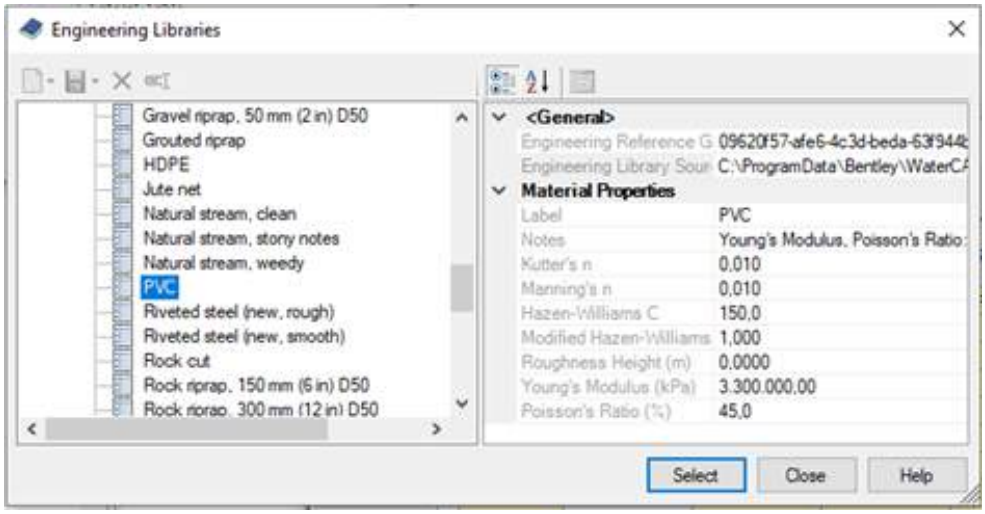


3.2- Haga doble clic para abrir la tabla de tuberías y editar los campos que se encuentran de color blanco e ingresar los diámetros de las tuberías como se muestra a continuación:



	ID	Label	Material	Start Node	Diameter (mm)	Stop Node	Length (User Defined) (m)
44: P-3	44	P-3	Ductile Iron	J-1	150,0	J-2	0
46: P-4	46	P-4	PVC	J-2	150,0	J-3	0
48: P-5	48	P-5	PVC	J-3	150,0	J-4	0
50: P-6	50	P-6	Ductile Iron	J-4	150,0	J-5	0
52: P-7	52	P-7	Ductile Iron	J-5	150,0	J-6	0
53: P-8	53	P-8	Ductile Iron	J-6	150,0	J-1	0
54: P-9	54	P-9	Ductile Iron	J-3	150,0	J-6	0
56: P-10	56	P-10	PVC	J-7	150,0	J-4	400
71: P-14	71	P-14	Ductile Iron	J-8	150,0	J-5	521
74: P-16	74	P-16	Ductile Iron	R-2	1.000,0	PRV-2	0
75: P-17	75	P-17	Ductile Iron	PRV-2	150,0	J-1	0

3.3- Para ingresar el material de la tubería P-4, P-5 y P-10, haga clic en los puntos suspensivos para abrir la ventana de bibliotecas de ingeniería. Expanda biblioteca de materiales > Biblioteca de materiales.xml y seleccione PVC.



3.4- No modifique los otros datos de las tuberías y cierre la tabla de tuberías y el editor de propiedades.

Label	Material
P-3	Ductile Iron
P-4	PVC
P-5	PVC
P-6	Ductile Iron
P-7	Ductile Iron
P-8	Ductile Iron
P-9	Ductile Iron
P-10	PVC
P-14	Ductile Iron
P-16	Ductile Iron
P-17	Ductile Iron

4- Ingreso del caudal en juntas mediante LoadBuilder.

El administrador de Generador de Carga es una herramienta de ubicación central para la creación, almacenamiento de distintas plantillas de Generación de carga.

Los controles de esta herramienta son:

Nuevo	Abre el Asistente de Generador de carga.
Eliminar	Elimina una plantilla de Generador de carga existente.
Renombrar	Cambia el nombre de una plantilla de Generador de carga existente.
Editar	Abre el asistente Generador de carga con la configuración asociada con la definición actualmente resaltada cargada.
Ayuda	Abre la ayuda en línea sensible al contexto.

4.1- Método de carga a usar

Especifique el método de carga que desee utilizar, los siguientes pasos varían en función del método de carga que se elija, los métodos se clasifican en distintas categorías, se selecciona haciendo clic en el botón deseado. Luego, el método se selecciona del panel Tipos de demanda de carga.

Los métodos disponibles son:

Datos de carga puntual

- Agregación de contadores de facturación: este método de carga asigna todos los contadores dentro de un polígono de servicio al nodo de carga especificado para ese polígono de servicio.



- Nodo más cercano: este método de carga asigna cargas de medidores de clientes al cruce de carga más cercano.



- Tubería más cercana: este método de carga asigna las cargas del medidor del cliente a la tubería más cercana y luego distribuye las cargas utilizando criterios definidos por el usuario.



Datos de carga de área

- Distribución de flujo igual: este método de carga divide equitativamente el flujo total contenido en un polígono de límite de flujo y lo asigna a los nodos que se encuentran dentro del polígono de límite de flujo.



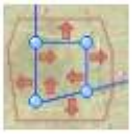
- Distribución proporcional por área: este método de carga distribuye proporcionalmente una carga de suma global entre varios nodos de carga en función de la relación entre el área de servicio total y el área del polígono de servicio correspondiente del nodo.



- Distribución proporcional por población: este método de carga distribuye proporcionalmente una carga de suma global entre una cantidad de nodos de carga en función de la proporción de la población total contenida dentro del polígono de servicio correspondiente del nodo.



- Línea Unitaria: este método de carga distribuye proporcionalmente la demanda en función de la longitud de las tuberías que se encuentran conectadas a cada junta.



Datos de población/uso de la tierra

- Proyección por uso de la tierra: este método asigna cargas en función de la densidad por tipo de uso de la tierra de cada polígono de servicio.



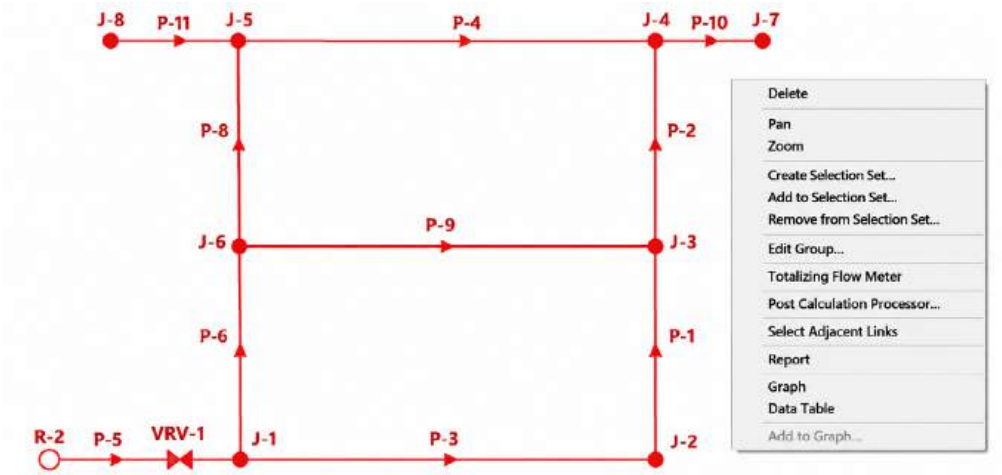
- Estimación de carga por población: este método asigna cargas según las relaciones definidas por el usuario entre la carga per cápita y los datos de población.



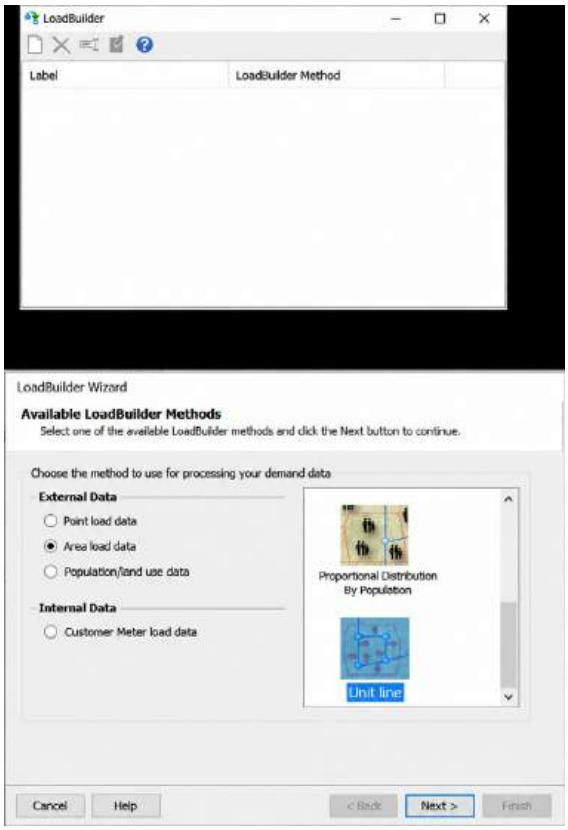
4.2- Datos internos. Datos de carga de conexión de propiedad

Los datos de carga deben basarse en datos de elementos de conexión de propiedad y asociados con elementos de derivación u otros elementos de nodo en el modelo. Este método asume que los datos de carga ya están disponibles en conexión de propiedad. Dichos datos se habrían importado mediante Constructor de modelos o se habrían ingresado manualmente.

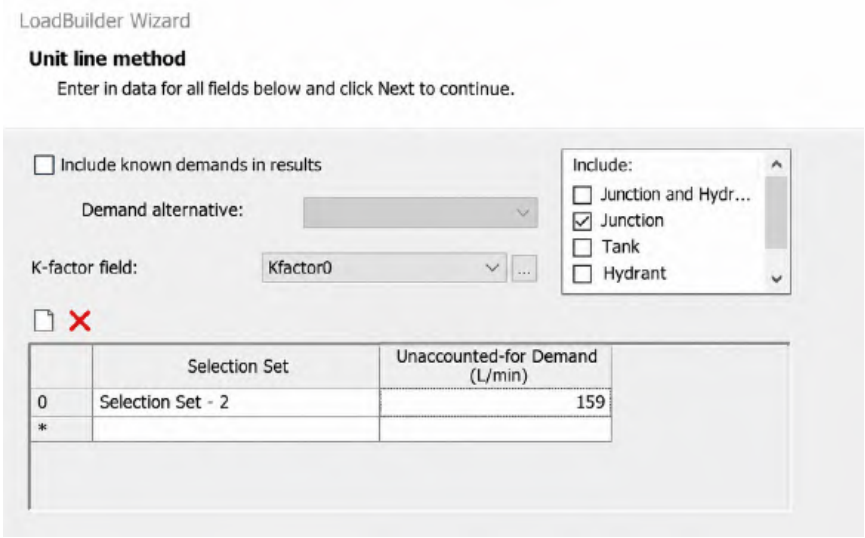
4.2.1- Seleccione la red de distribución y de un click derecho, en el menú seleccione la opción Crear Conjunto de selección.



4.2.2- En la pestaña Tools seleccionar la herramienta Generador de carga, Dar clic en Nuevo, luego seleccionar la opción Datos de carga de área con el método Línea unitaria.

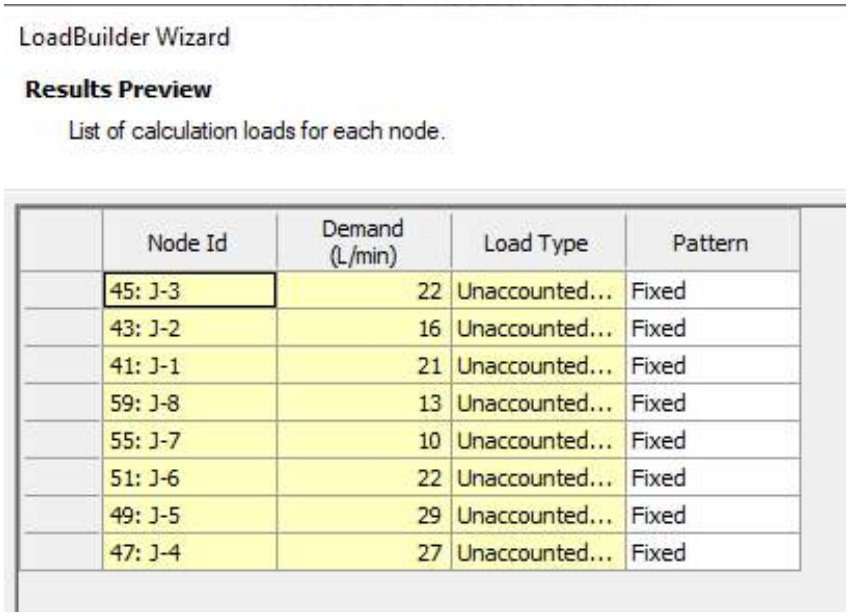


4.2.3- En el apartado campo Kfactor dar clic en el icono de puntos suspensivos y establecer un Kfactor de 0.5 el cual significa que la red se distribuye equitativamente, seleccione la red Conjunto de selección-1 creada anteriormente con una demanda de 847 l/min, finalmente seleccionar únicamente el casillero de Junta.



4.2.4- Dar clic en Siguiente y verificar que los datos ingresados sean los correctos y continuar.

4.2.5- Observe que la demanda en cada nodo ha sido asignada y seleccione Siguiente.



4.2.6- En el casillero de Anular una alternativa existente y Añadir a una alternativa existente seleccione Demanda Base y seleccione Finalizar.

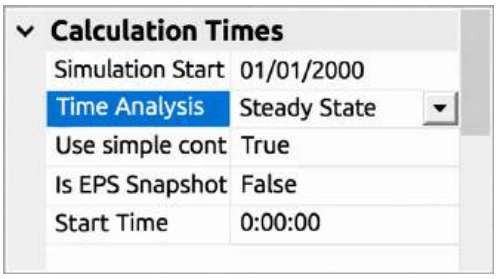
4.2.7- Finalmente cierre la ventana de la herramienta Generador de carga y sincronice los parámetros con el modelo.

4.2.8- Diríjase a Junta > Tablas flexibles > Vista y observe que en la columna Cobro de demanda se encuentra asignado un ítem en cada junta.

5- Corrida en estado estacionario (régimen permanente)

5.1- Clic en Análisis > Opciones para abrir la ventana de administrador de cálculo.

5.2- Doble clic en Base Opciones de cálculo bajo Solucionador de estado estacionario para abrir la ventana de editor de propiedades. Asegúrese de establecer el tiempo de análisis en estado estable.



5.3- Cierre el editor de propiedades junto al administrador de opciones de cálculo.

5.4- De un Clic en Análisis > Validar, luego seleccione Ok en caso de no existir inconvenientes en el modelo.

5.5- Clic en Computar en la pestaña Hogar o Análisis para correr el modelo.

5.6- Cuando se termine el análisis se abrirá una tabla resumen en donde las notificaciones de color azul son mensajes de información, una luz verde indica que no existen errores, las notificaciones amarillas indican errores y las notificaciones rojas indican problemas.

5.7- Cierre el cuadro de resumen de cálculo.

5.8- Guarde su modelo.

6- Reporte de resultados Régimen permanente

Como se define el régimen permanente, los caudales en las juntas y en el modelo son permanentes.

6.1- En la ventana de simbología de un clic con el botón derecho en el icono Tubería y seleccione Nuevo > Anotación.

6.2- Seleccione los parámetros para

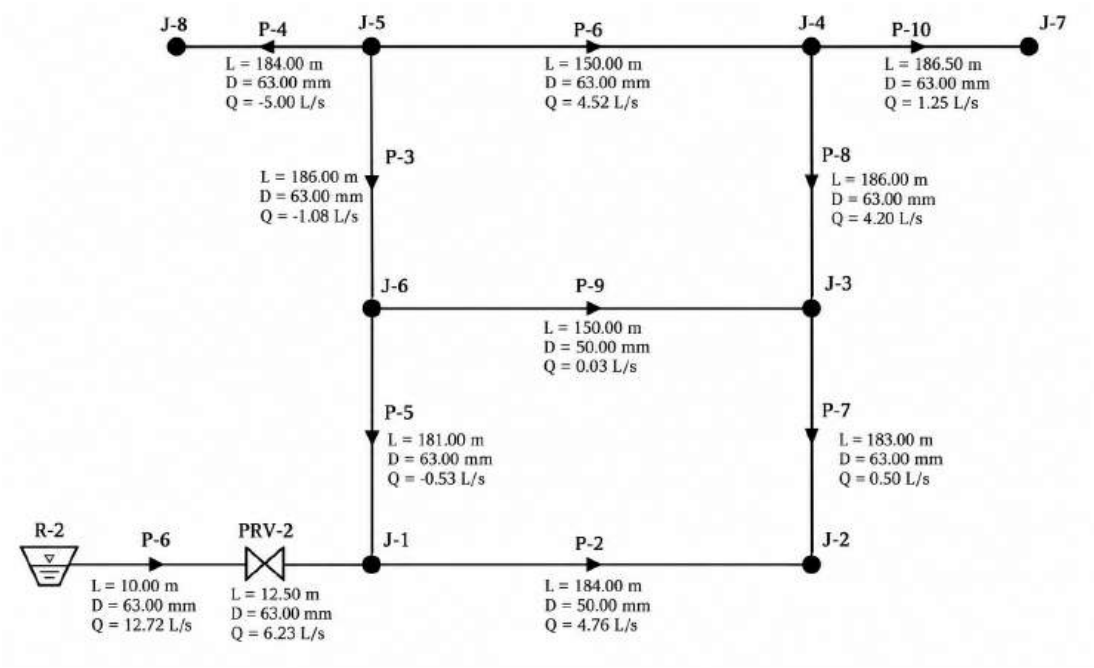
Tubería:

- Pérdidas
- Flujo
- Diámetro
- Longitud

Juntas:

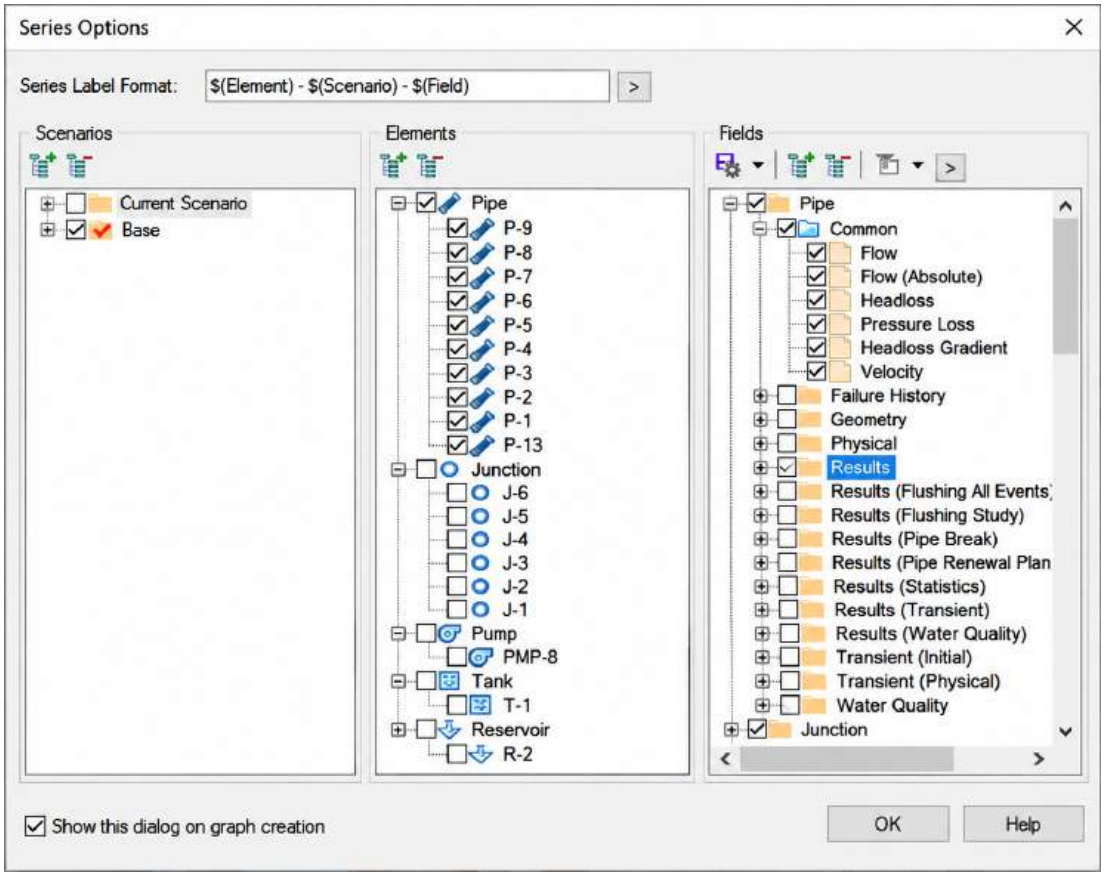
- Demanda
- Presión
- Cabeza de presión

Resultados del modelo en régimen permanente.



6.3- Para visualizar los resultados en gráficos seleccione la pestaña Home y de clic en el icono Gráficas

6.4- Seleccione el casillero de tubería como se muestra a continuación.

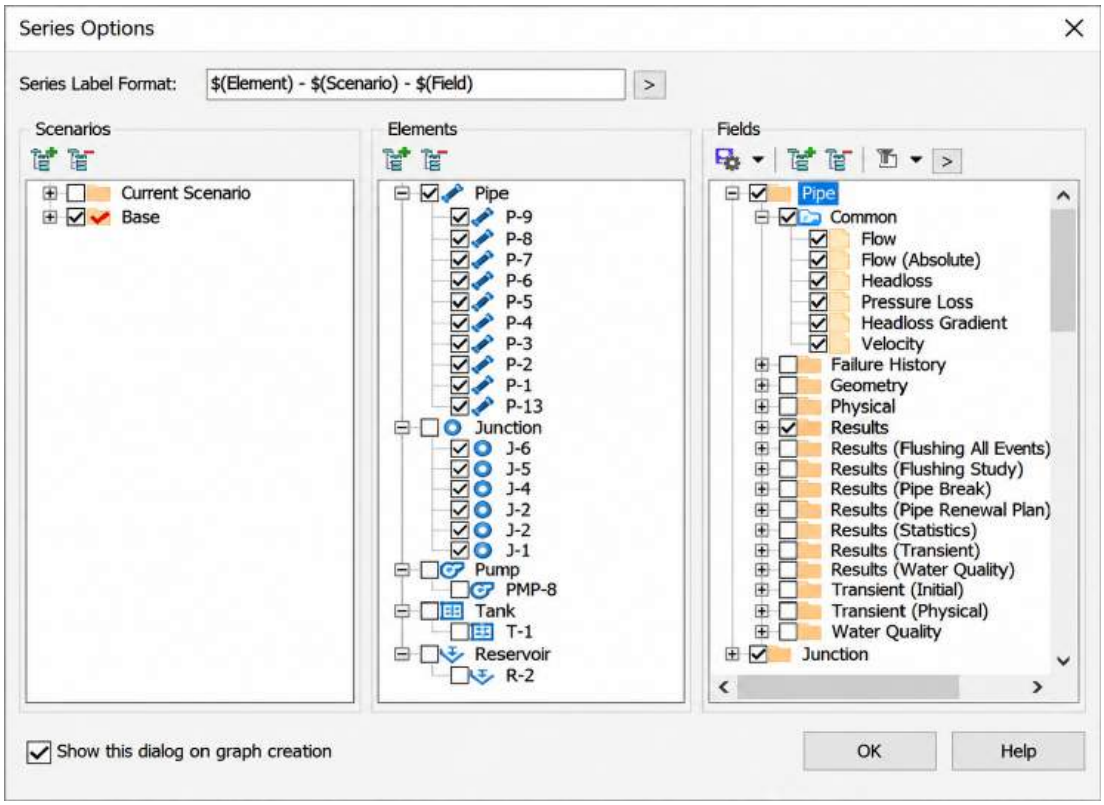


6.5- Seleccione Ok.

Reporte de resultados para tuberías.

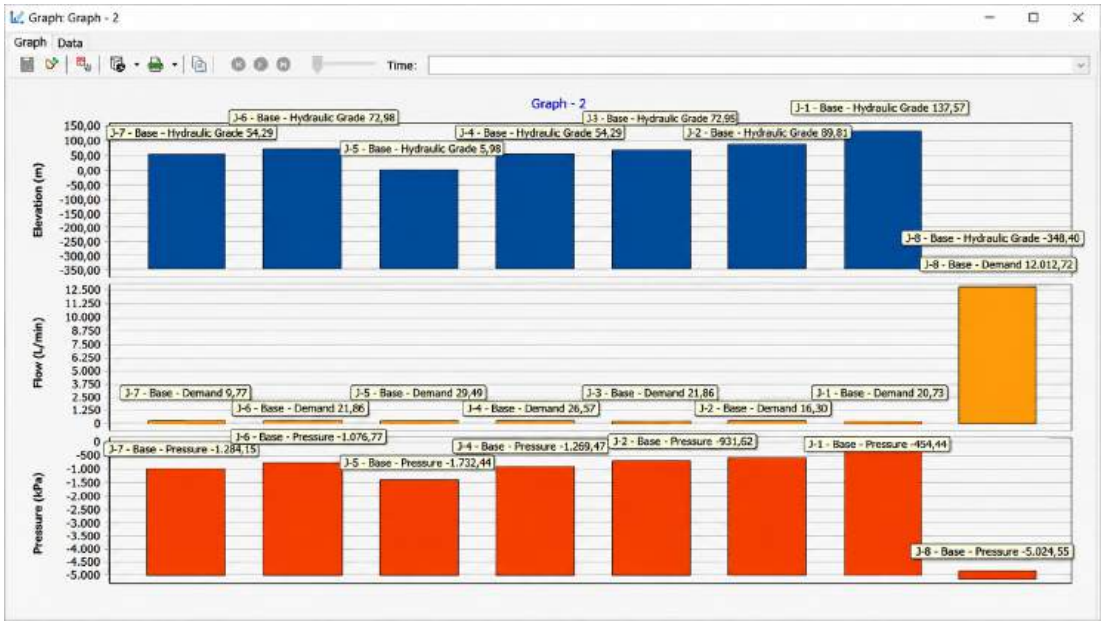


6.6- Para las juntas seleccione los parámetros de la siguiente manera.



6.7- Seleccione Ok.

Reporte de resultados de juntas.



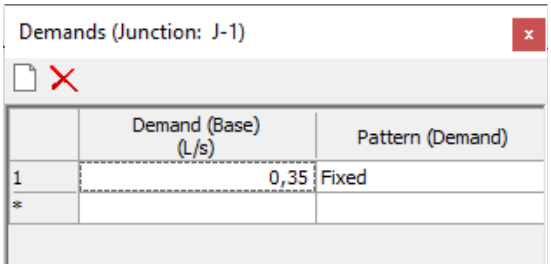
7- Modelación en régimen no permanente

Sirve para modelar una red de distribución de agua potable a lo largo del tiempo, usando la simulación de periodo extendido (EPS), los tipos de comportamiento se pueden analizar con un modelo EPS cuando las bombas fluctúan, con válvulas abiertas o cerradas y cómo cambia la demanda en un día.

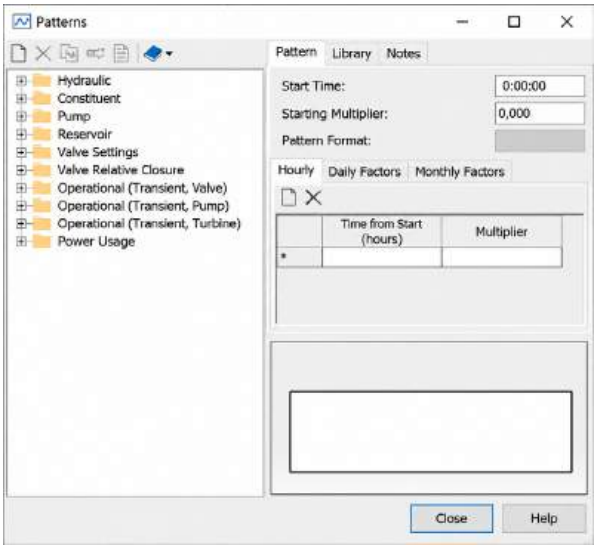
7.1- Creación de patrones de demanda o coeficientes de variación horaria.

La demanda de agua varía en función del tiempo, como, por ejemplo, en la mañana cuando las personas se alistan antes de ir al trabajo o en la noche cuando toda la familia se encuentra en la casa y prepara la cena o se ducha, esta variación en el consumo a lo largo del tiempo se puede modelar usando patrones de demanda o comparando distintos escenarios con caudales de máximo consumo y de consumo promedio. Los patrones de demanda son multiplicadores que pueden variar con el tiempo y se encuentran aplicados a una demanda base. En el modelo se dividirá las demandas fijas para cada nodo de cruce en dos demandas de carácter individual, pero con diferentes patrones. Existirán dos patrones de demanda para uso comercial y residencial.

7.2- Abra el editor de propiedades en J-1 y seleccione los puntos suspensivos de Cobro de demanda.



7.3- Seleccione el campo Patrón (Demanda) y haga clic sobre los puntos suspensivos para abrir la ventana de administrador de patrones.



7.4- Seleccione la carpeta hidráulica y cree un nuevo patrón hidráulico.

7.4.1- Nombre al nuevo patrón como Residencial

7.4.2- Establezca la hora de inicio en 12:00:00 a.m.

7.4.3- Ingrese 0.5 como multiplicador inicial

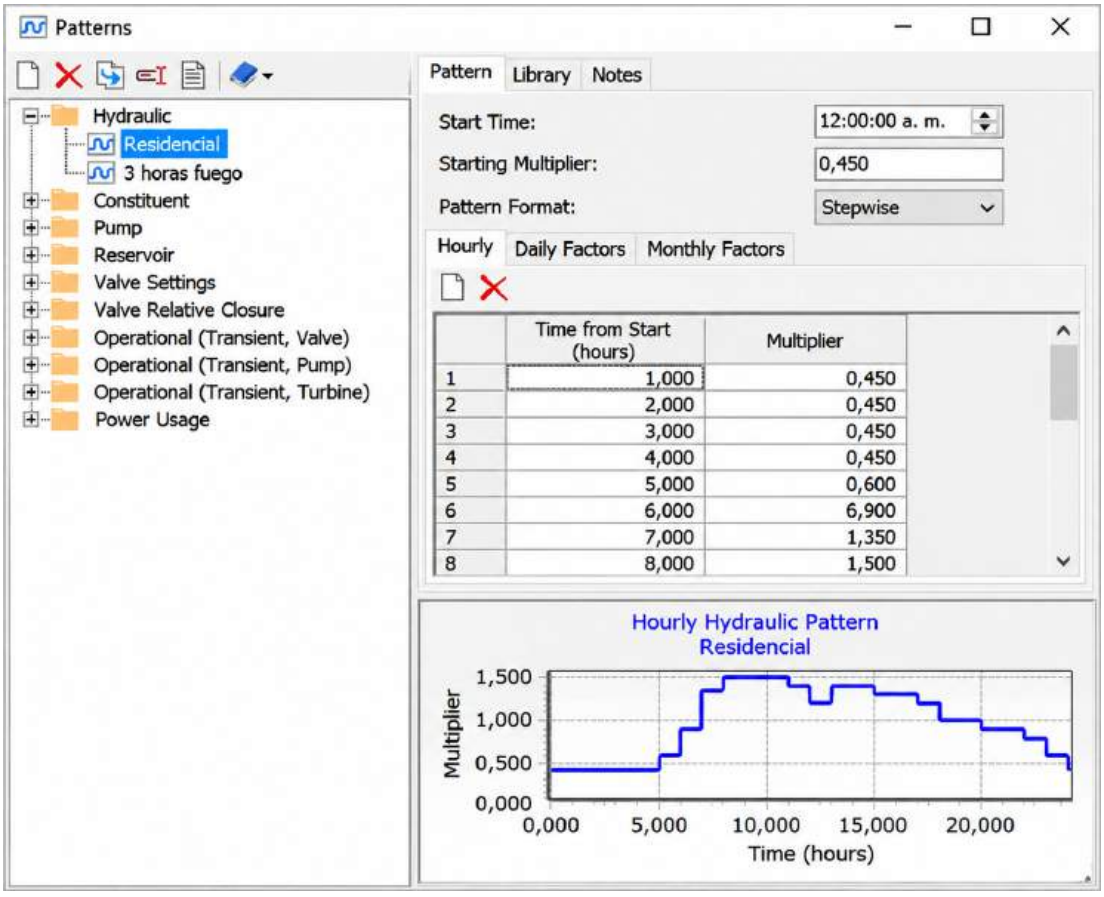
7.4.4- En el menú patrón de formato seleccione Paso a paso.

El patrón de demanda tendrá multiplicadores que serán constantes hasta alcanzar el siguiente incremento de tiempo del patrón. El multiplicador de la última vez obtenida (24 horas) debe ser igual al multiplicador inicial (0.5). Los valores son iguales debido a que la curva de demanda representa un ciclo siendo el último igual al primero.

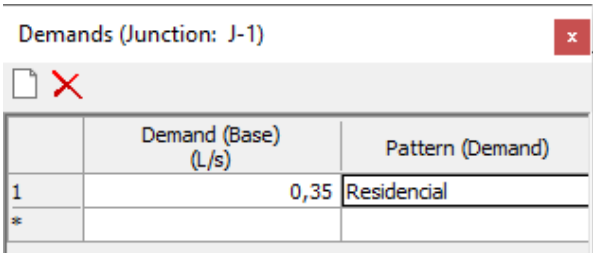
En la pestaña por hora, ingrese los tiempos y multiplicadores o coeficientes de variación horaria.

El patrón residencial debe observarse de la siguiente manera.

Patrones de demanda de variación horaria para pequeñas comunidades.



7.4.5- Regrese al campo patrones en J-1 y cambie el patrón de demanda por residencial como se muestra a continuación.

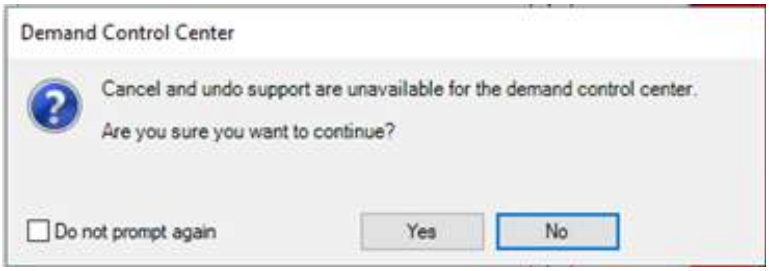


7.4.6- Cierre el editor de propiedades.

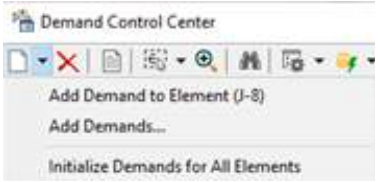
7.4.7- De la misma forma cambie el patrón de demanda por Residencial para el resto de las juntas.

7.4.8- Puede utilizar sencillamente los datos con el centro de control de demanda en Componentes > Centro de demanda > Centro de control de demanda.

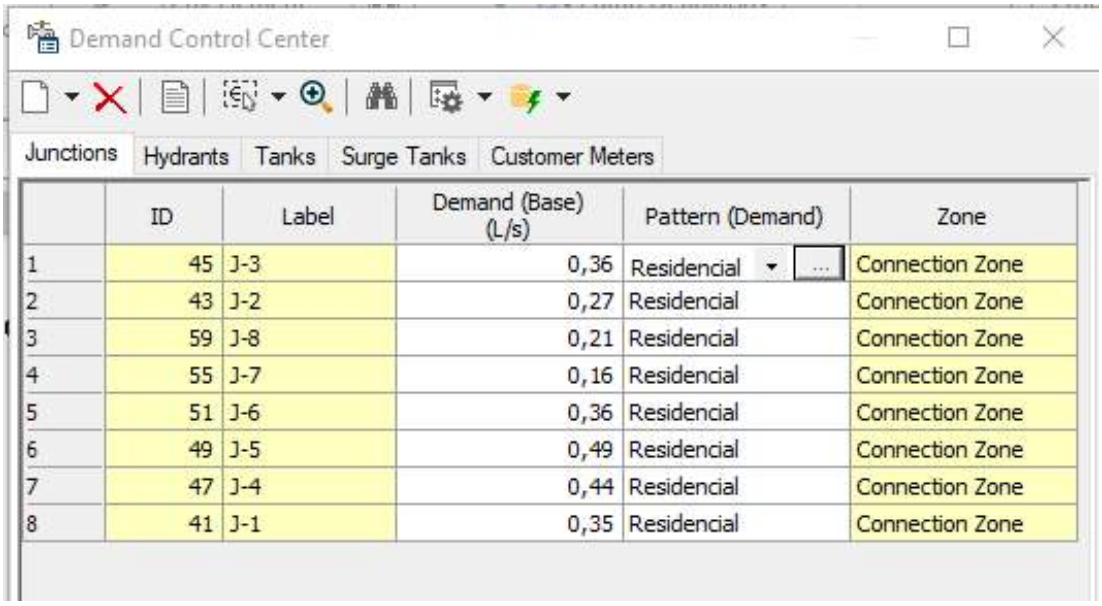
7.4.9- Al recibir un mensaje de cancelar y deshacer que no se encuentra disponible para el centro de control de demanda haga clic en si para continuar con el proceso.



7.4.10- Ingrese la demanda y patrón que corresponden a cada junta. Para una segunda demanda de una junta seleccione la etiqueta de la junta deseada en la tabla y seleccione la flecha hacia abajo a un lado de Nuevo y seleccione Agregar demanda a (J-#) como se necesite.



7.4.11- El centro de control de demanda debería verse de la siguiente forma



	ID	Label	Demand (Base) (L/s)	Pattern (Demand)	Zone
1	45	J-3	0,36	Residencial	Connection Zone
2	43	J-2	0,27	Residencial	Connection Zone
3	59	J-8	0,21	Residencial	Connection Zone
4	55	J-7	0,16	Residencial	Connection Zone
5	51	J-6	0,36	Residencial	Connection Zone
6	49	J-5	0,49	Residencial	Connection Zone
7	47	J-4	0,44	Residencial	Connection Zone
8	41	J-1	0,35	Residencial	Connection Zone

7.4.12- Para simular un incendio de tres horas en el nodo j-8 se configurará un patrón de demanda aparte.

a. En la junta J-8 seleccione agregar nueva demanda al elemento (J-8)

b. Introduzca 2000 l/min de demanda base

c. Haga clic en los puntos suspensivos del casillero patrón para agregar uno nuevo

d. Resalte la carpeta Hidráulica, y cree un nuevo patrón con el nombre Fuego de 3 Horas

e. La hora de inicio coloque 12 a.m. e ingrese 0 como multiplicador inicial

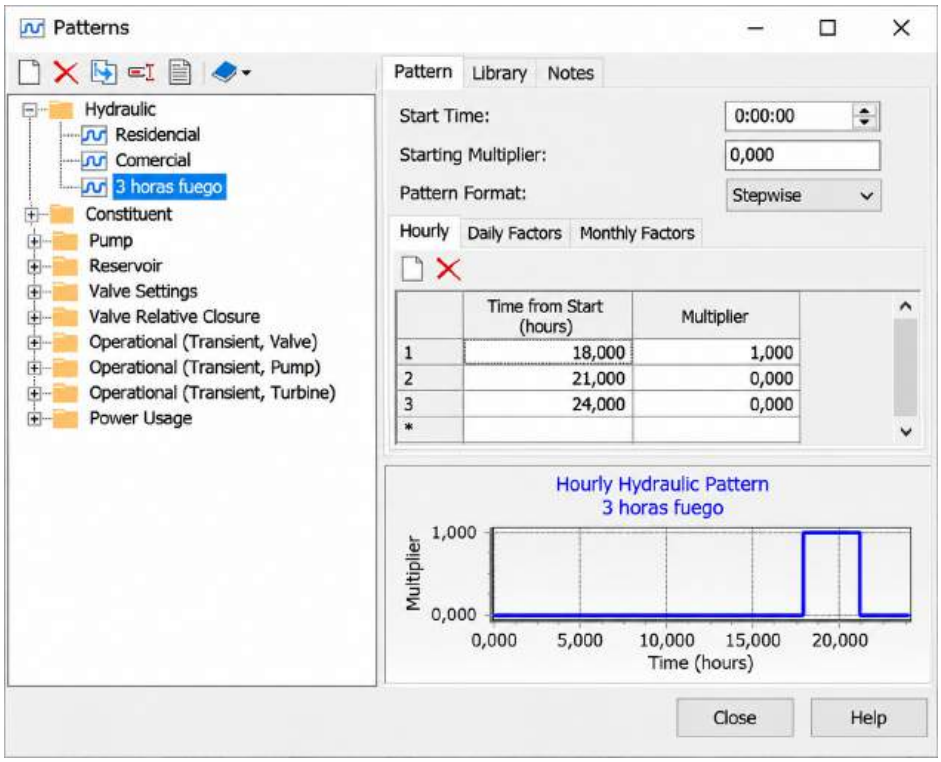
f. Seleccione el formato paso a paso

Multiplicadores de flujo de incendio.

Tiempo desde el inicio	Multiplicador
18	1
21	0
24	0

g. Una vez terminada la tabla, observe el gráfico de la parte inferior del administrador de patrones.

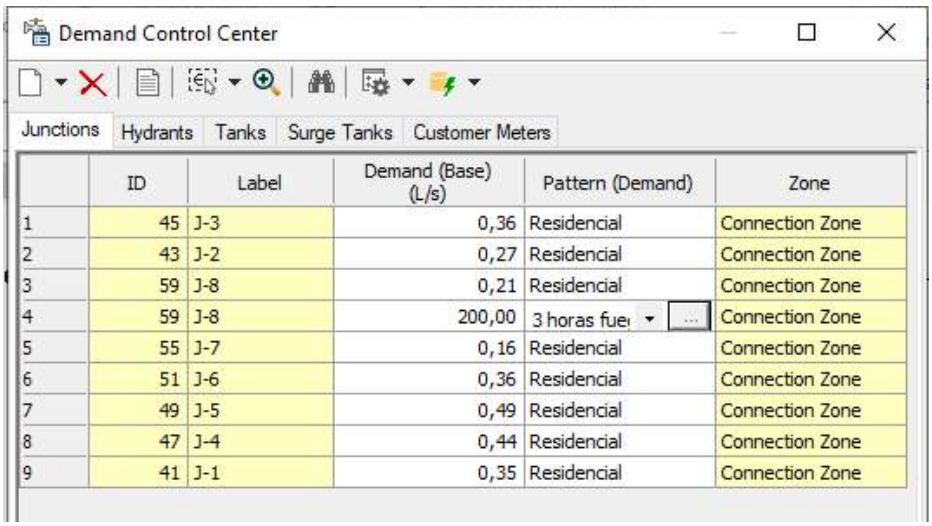
Patrones de demanda para incendios.



El valor del multiplicador es cero, excepto para el período de 18:00 a 21:00, donde es 1.0. Dado que el requisito de entrada es 200 l/min, el resultado es 2000 l/min. Incendio actual en intersección J-6 de 18 a 21 horas.

h. Seleccione el patrón 3 horas fuego en el cajón Patrón (Demanda)

Centro de control de demanda en juntas.



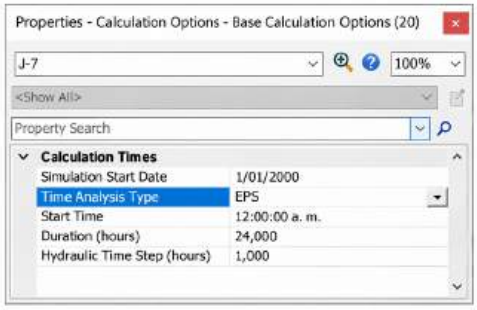
i. Cierre la ventana de control de Demanda

8- Ejecución del análisis de simulación de periodo extendido (régimen no permanente)

8.1- Diríjase a Análisis > Opciones para abrir las opciones de cálculo.

8.2- Doble-clic en opciones de cálculo base en Steady State/EPS Solucionador para abrir el editor de propiedades y seleccione la opción EPS en el tipo de análisis tiempo.

Opciones de cálculo en régimen no permanente.

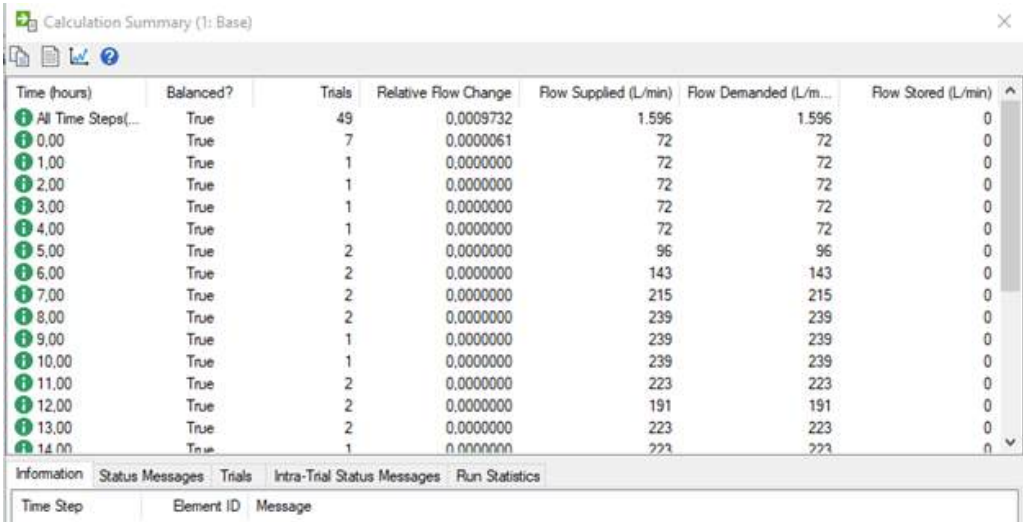


8.3- Seleccione Análisis > Validar, luego seleccione OK para verificar el correcto funcionamiento del modelo. Si existen advertencias en color rojo se recomienda corregir o eliminar los elementos erróneos.

8.4- Seleccione Computar en la pestaña Hogar o en análisis.

8.5- Se abre la ventana de resumen de cálculo.

Resumen de notificaciones de la ejecución del modelo.



8.6- Cuando existen errores o advertencias. La luz azul es un mensaje informativo, una luz amarilla es una advertencia y la luz roja indica problemas.

8.7- Cierre las notificaciones y otras ventanas emergentes.

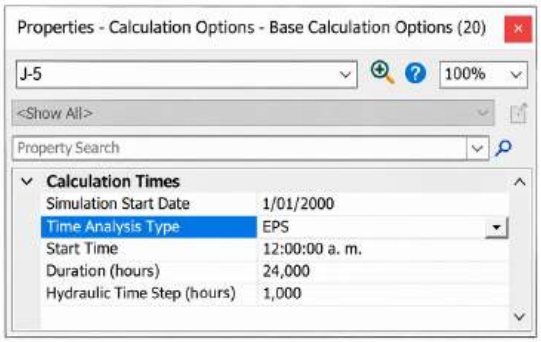
8.8- Guarde el modelo hidráulico.

9- Reporte de resultados régimen no permanente

En una red de distribución los caudales varían a lo largo del día, es por eso que anteriormente se establecieron índices en cada hora para realizar una modelación en régimen no permanente.

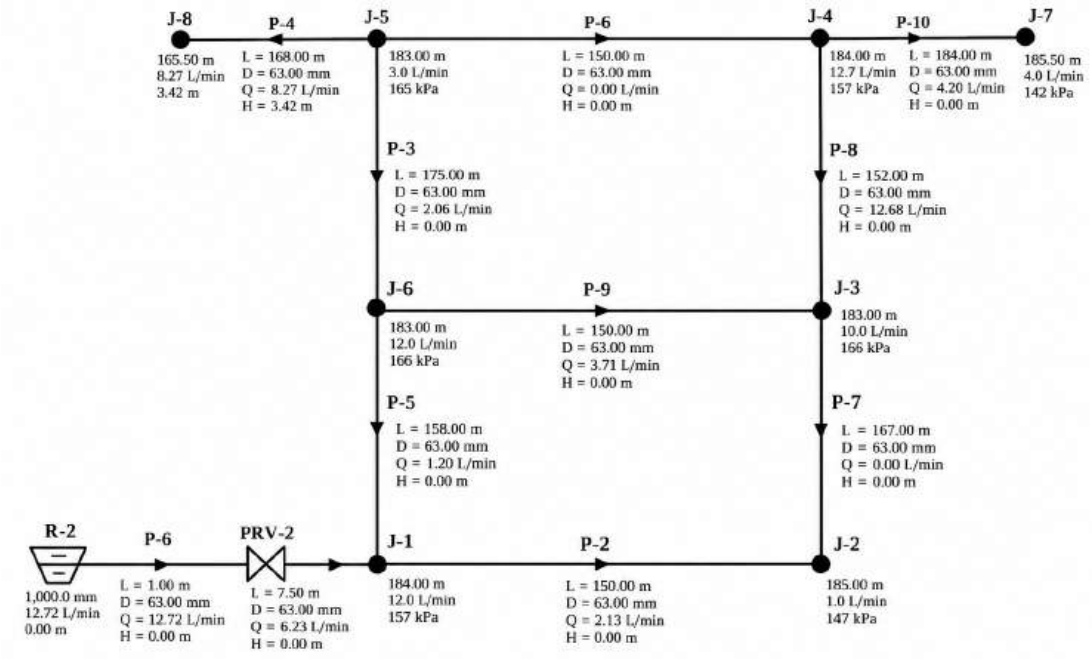
De la misma manera que en régimen permanente grafique los parámetros con la única diferencia de colocar EPS en las opciones de cálculo.

Opciones de cálculo en régimen no permanente.



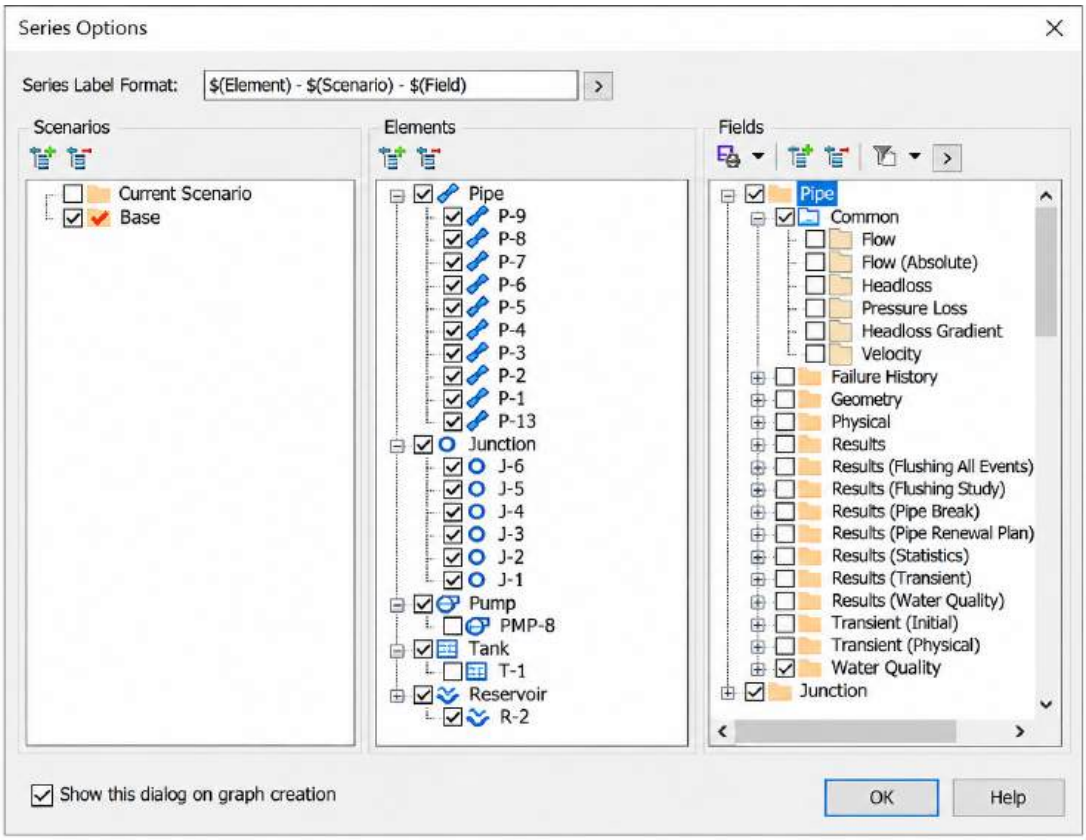
9.1- Seleccione compute en la pestaña home.

Resultados en régimen no permanente.

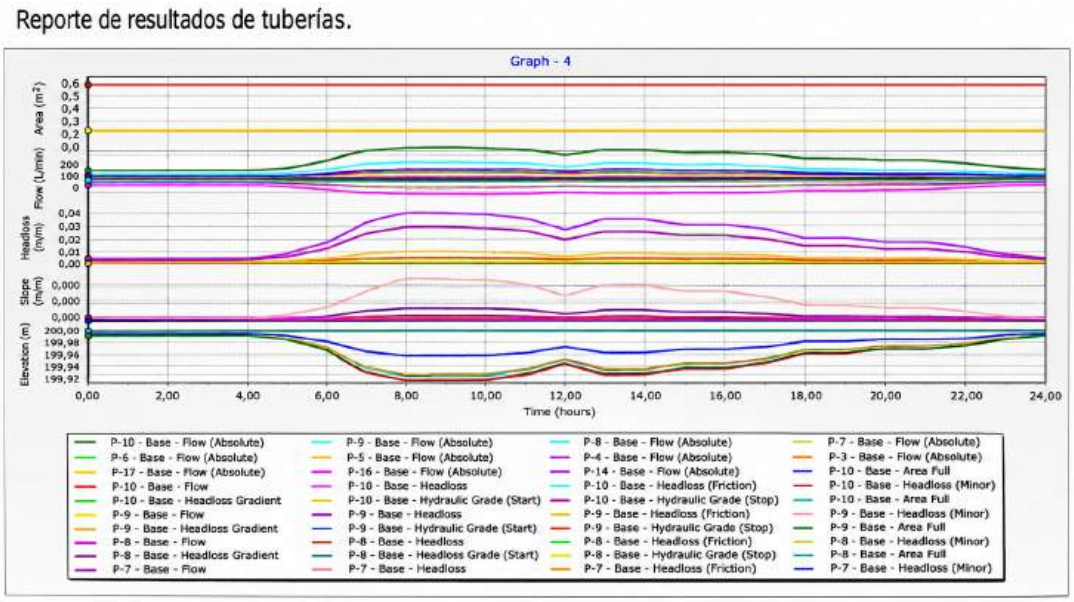


9.2- Grafique los resultados como se muestra a continuación para tuberías.

Leyendas para graficar tuberías.

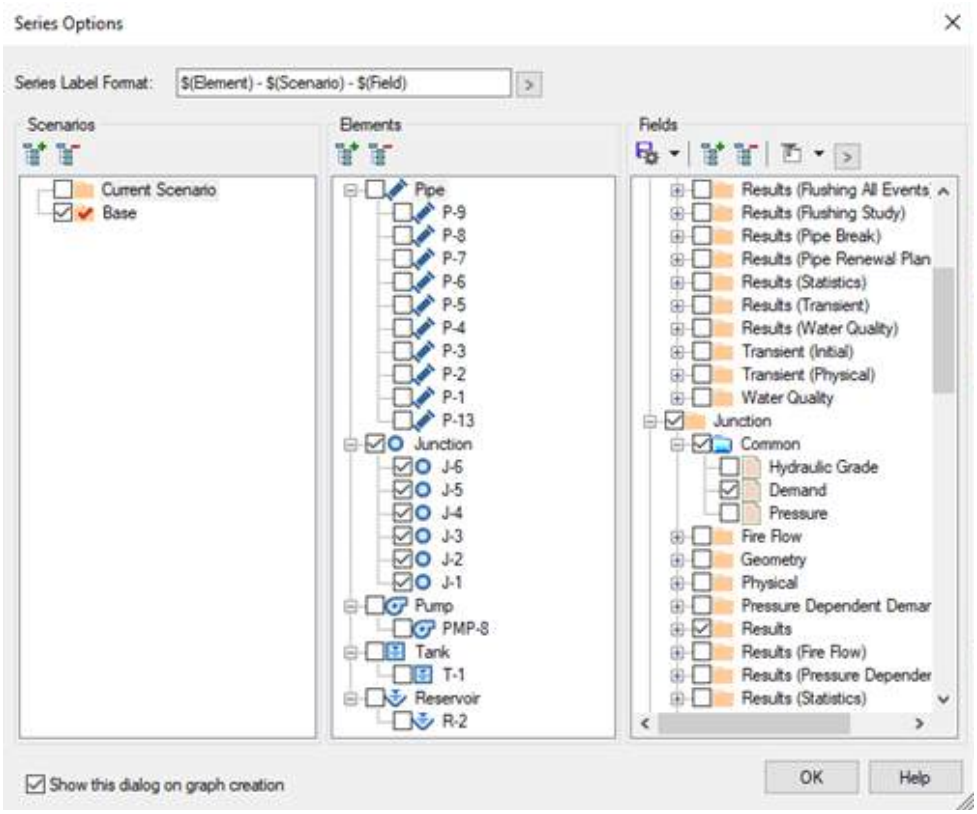


Reporte de resultados de tuberías.



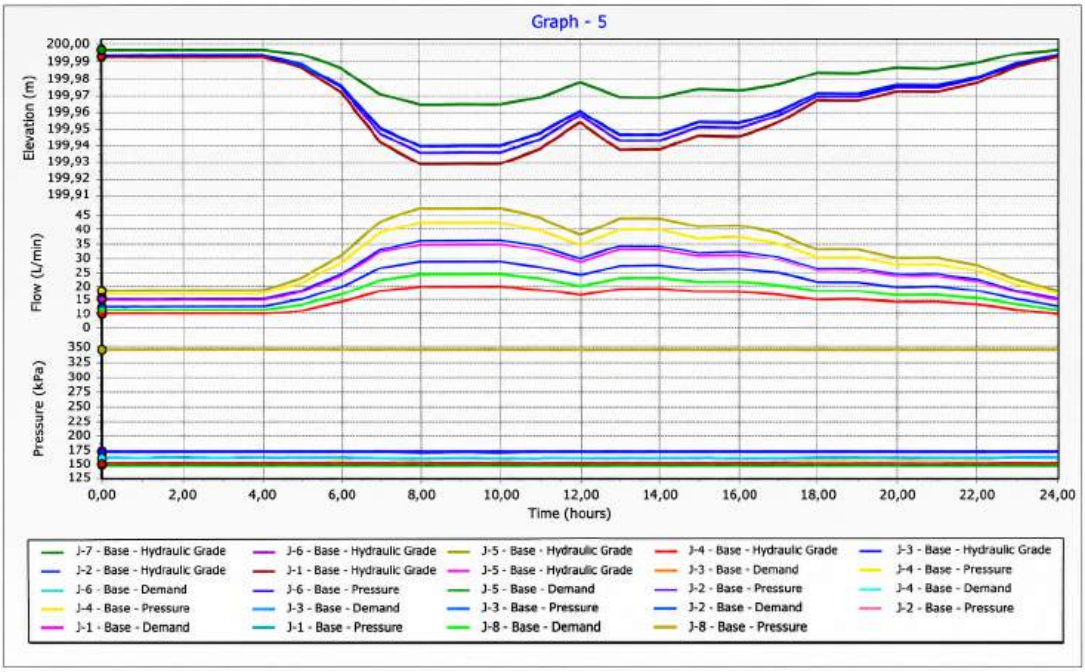
9.3- Grafique los resultados que se muestran a continuación para juntas.

Leyendas para graficar Juntas.



9.4- Seleccione ok.

Reporte de resultados en régimen no permanente



El análisis en régimen no permanente evidencia que el sistema de distribución responde de manera consistente y estable frente a las variaciones horarias de consumo, manteniendo condiciones hidráulicas adecuadas durante todo el periodo de simulación. La relación observada entre el incremento de la demanda y la disminución temporal del gradiente hidráulico se compensa sin comprometer la presión de servicio, lo que confirma un dimensionamiento coherente de las conducciones y una capacidad efectiva de regulación del sistema. Asimismo, la recuperación progresiva de los niveles piezométricos en los periodos de menor consumo refleja un funcionamiento equilibrado de la infraestructura de abastecimiento, sin indicios de déficits críticos ni sobrecargas operativas.

En conjunto, los resultados validan la representatividad del patrón de demanda adoptado y demuestran que la red es capaz de operar de forma confiable bajo condiciones dinámicas reales, aportando una base técnica sólida para la planificación, optimización y toma de decisiones en la gestión del sistema de agua potable.

4.3. Otras consideraciones para el modelamiento hidráulico

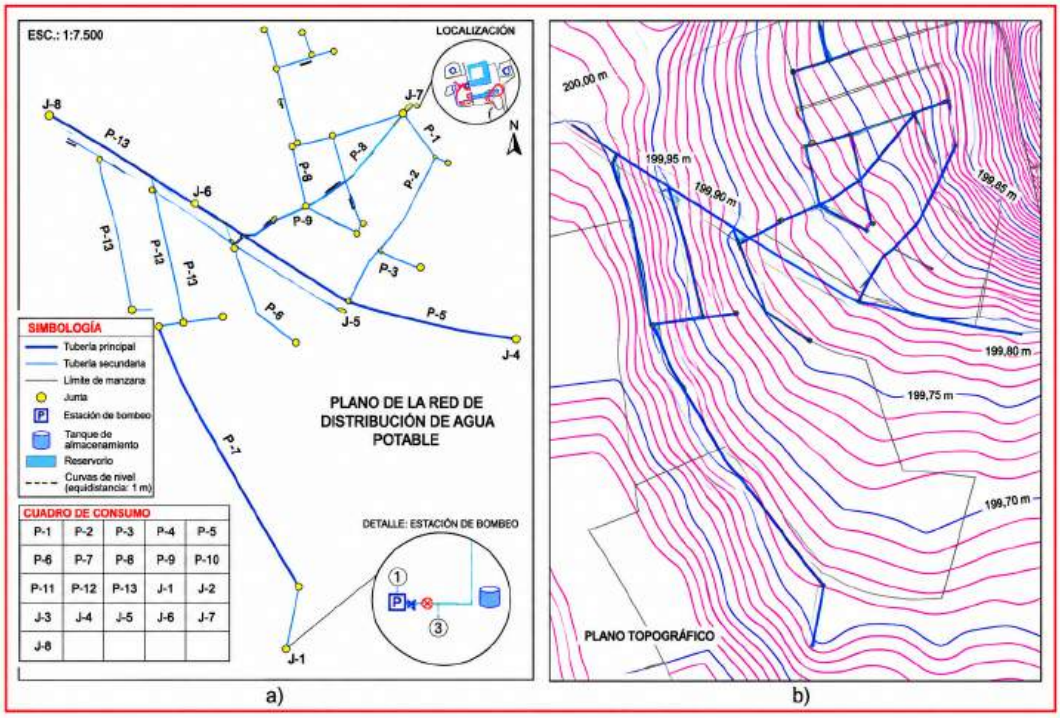
"La topología de la red consiste en la forma en que están conectados los diferentes elementos que la componen, y se llega a ella a partir de la información generada por el proceso de recopilación" (CONAGUA, 2019d).

4.3.1 Esqueletización de la red

Consiste en una representación gráfica simplificada de la red de distribución y esquematizar los demás elementos como detalla la Figura 94 (CONAGUA, 2019c).

Figura 94

Esqueletización de la red a) plano de la red de distribución, b) plano topográfico (CONAGUA, 2019c)



Recomendaciones

1. La red de distribución se simplifica eliminando los elementos más pequeños y sustituyendo las ramificaciones de la red por nodos de consumo.
2. El diámetro de la tubería que se considerará depende del grado de esqueletización que se maneje
3. Dentro de una red puede haber zonas de consumo en las que las tuberías de pequeño diámetro tengan una capacidad de transporte importante. Éstas no siempre se deben eliminar.
4. Hay casos en los que, para mantener la conectividad de algunas tuberías de mayor diámetro, es preciso incluir una tubería más pequeña. Hay que tener en cuenta que una tubería, que en condiciones normales de operación de red no tiene capacidad importante de transporte, puede llegar a tenerla si, por rotura o fallo, fuera necesario cerrar alguna tubería importante. Es importante incluir este tipo de tuberías ya que, en

muchos casos, el modelo se utiliza para observar el comportamiento de la red en estas situaciones.

5. En cualquier caso, siempre es mejor añadir una tubería de más, y no eliminar una que más adelante puede tener importancia en el modelo.
6. Eliminación de ramificaciones y acometidas. Se acumula la demanda conocida que se satisface desde la ramificación, en un nodo de consumo que sustituye al que serviría de conexión de la ramificación con la red principal.
7. Se unifican los nodos próximos en los que, debido a la corta longitud de las líneas que los unen, se observará un mismo valor de presión.
8. Asociación de tuberías en serie o en paralelo. En este caso se considera una única línea asociada a un conjunto de tuberías.
9. En redes malladas, se considera el punto de equilibrio hidráulico para determinar los puntos de separación de los nodos y de esta, se crean ramificaciones cuya demanda se acumula en un nodo de consumo. En la Figura 95 se tienen las reglas 1.6 y 7. En la Figura 96 se tienen las reglas 3.4 y 5. En la Figura 97 se tiene la regla 8.

Figura 95

Agregación espacial considerando las reglas 1.6 y 7 (CONAGUA, 2019c).

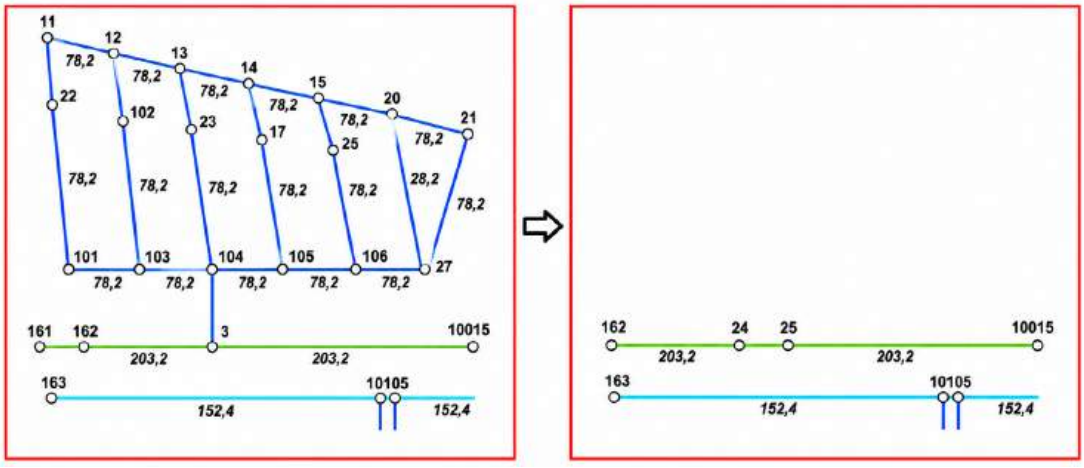


Figura 96

Agregación espacial considerando reglas 3, 4 y 5 (CONAGUA, 2019c).

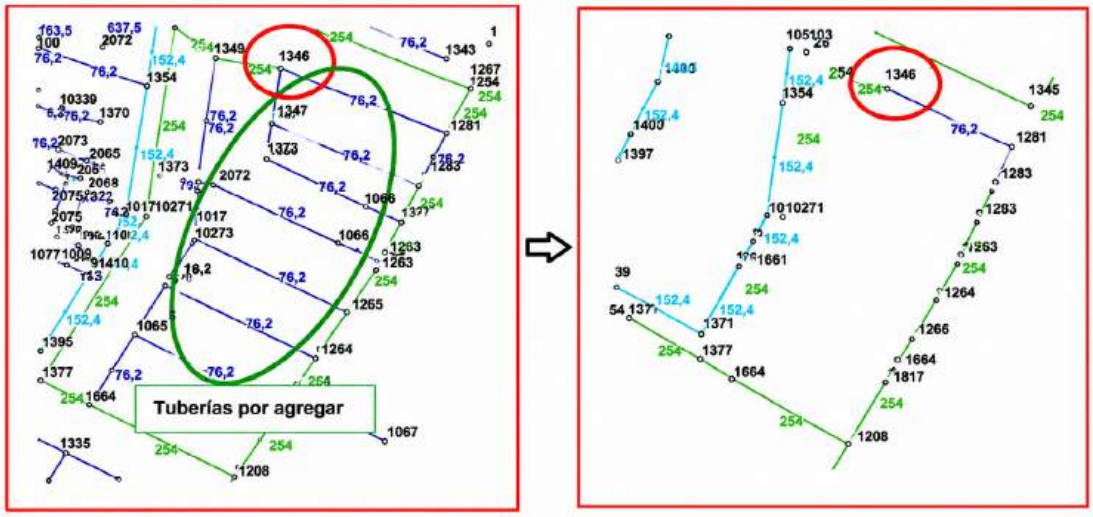
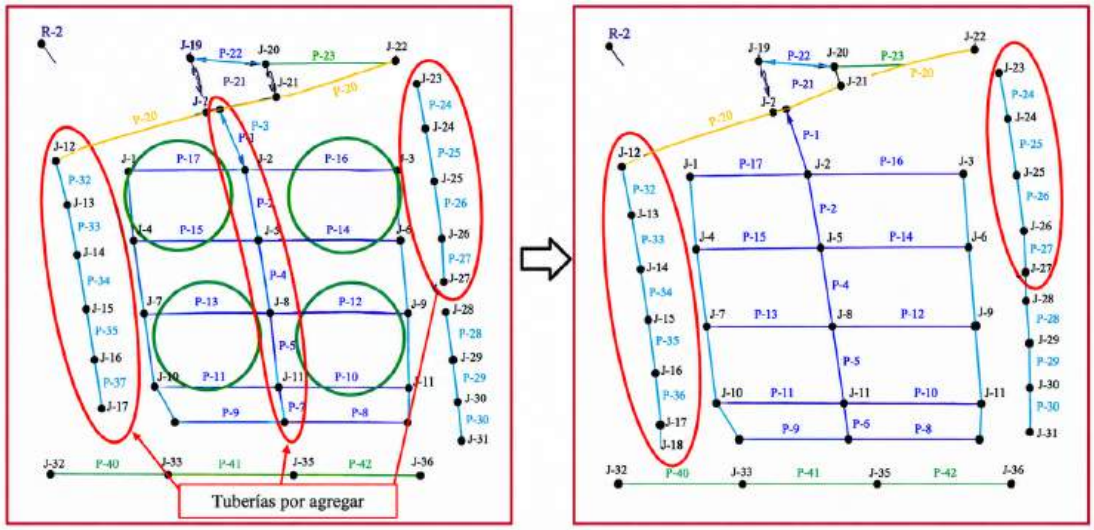


Figura 97

Agregación espacial considerando la regla 8 (CONAGUA, 2019c).



4.3.2- Métodos para asignar la demanda a los nodos

Los parámetros con mayor importancia dentro de una simulación son tres:

a. Diámetro de las tuberías

b. Rugosidad de las tuberías

c. Demanda en los nodos de consumo

La información necesaria para determinar la demanda promedio puede consistir en: el agua producida en las fuentes, el caudal o el volumen de agua bombeado, el caudal inyectado en los diferentes puntos de alimentación de la red, la variación de niveles en tanques o depósitos de almacenamiento o de regulación.

4.3.2.1- Asignación nodo por nodo

Este proceso consiste en relacionar cada usuario con un nodo del modelo y asignar su consumo a dicho nodo, buscando siempre referirlo al más cercano o al que se puede considerar que abastece al usuario (CONAGUA, 2019c).

En la red que se presenta en la Figura 98, la asignación de demanda se haría de la siguiente manera.

1. Se definen las áreas de influencia para cada nodo de consumo
2. Se calcula la demanda para cada uno de los predios dentro de la zona de asignación
3. La suma de las demandas de los predios se asigna a su respectivo nodo dentro del área de influencia

En el caso del nodo n_{14}, el total de predios dentro de su área de influencia es de 20; con los registros de facturación se estima una demanda promedio por predio de 20.64 m^3/mes (Figura 99). Así, la demanda total en el nodo resulta (CONAGUA, 2019c).

$$Demanda_{n14} = 20(20.64) = 412.92\frac{m^3}{mes}$$

$$= 13.32\frac{m^3}{\text{dia}} = 0.15\frac{L}{s}$$

Figura 98

Asignación de demandas a los nodos de consumo (CONAGUA, 2019c)

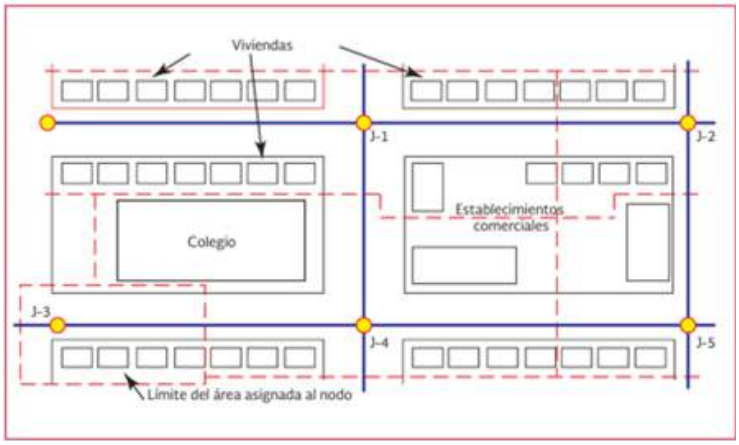
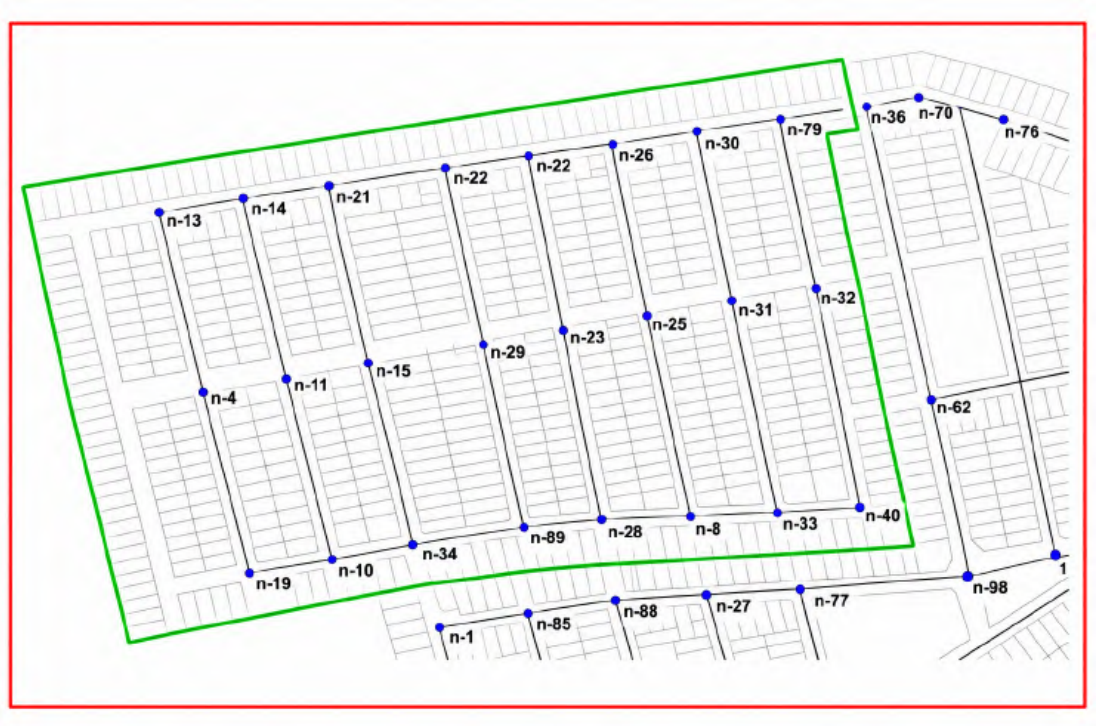


Figura 99

Red de ejemplo para asignar demanda (CONAGUA, 2019c).



4.4- EPANET

El programa EPANET, disponible para Windows 95/98, simula el comportamiento hidráulico y la calidad del agua durante un período prolongado dentro de redes de tuberías presurizadas. Una red puede incluir tanques, depósitos de almacenamiento, bombas, válvulas, nodos o uniones de tuberías. Este software sirve para monitorear también periodos de simulación que se distribuyen en varios tramos o lapsos de tiempo, durante esos periodos el software supervisa el flujo de agua en las redes, es decir, su caudal, presión y otros parámetros tanto en la conducción como en los nodos y tanque. También permite simular las fuentes de captación y la antigüedad del agua (Rossman, 2000).

Este software trae varias versiones de acuerdo con el sistema operativo que se ejecute, hablando específicamente de la versión de Windows esta brinda la opción de cambiar propiedades de la red al ingresar sus datos, simular los parámetros que ya se mencionaron antes, así como generar reporte de resultados en diferentes formatos de archivos (Rossman, 2000).

La División de Abastecimiento de Agua y Recursos Hídricos (anteriormente División de Investigación de Agua Potable) del Laboratorio Nacional de

Investigación de Gestión de Riesgos de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. trabajó en la creación de EPANET. Es un software libre, de dominio público.

Para seguir un ejemplo práctico de utilización del software EPANET, se recomienda consultar la siguiente webgrafía (D. Carrera-Villacrés, Montero, et al., 2025). En este trabajo se explica a detalle la parte inicial del modelado hidráulico con EPANET, con un ejemplo aplicado en la comunidad San Francisco de Baños, en el volcán Ilaló.





CAPÍTULO V

Diseño del drenaje sanitario

5. Caudales de diseño para alcantarillado sanitario

Las bases o parámetros de diseño que se revisaron en agua potable son los mismos para alcantarillado sanitario, es decir, nivel de servicio, periodo óptimo de diseño, población futura o de diseño, consumo y dotaciones, para el caso de poblaciones nuevas se toma de referencia los códigos o literatura, y para el caso de sistemas en operación se obtienen del censo sanitario, variaciones de consumo, y en este punto, se separa del agua potable y se tienen que calcular los caudales de diseño del alcantarillado sanitario.

En la normativa del Ecuador, el caudal de diseño de aguas residuales domésticas o alcantarillado sanitario se obtiene de la suma del caudal máximo instantáneo, que es el producto de un factor de mayoración aplicado al caudal de aguas residuales domésticas propiamente dichas, más el caudal de infiltración y más el caudal de conexiones ilícitas, ecuación 19.

$$Q_{dard} = Q_{Max\ Inst} + Q_{ind} + Q_{inf} + Q_{ili} \qquad (19)$$

Donde:

- Q_{dard} = Caudal de diseño de aguas residuales domésticas (l/s)
- Q_{ind} = Caudal de aguas residuales industriales (l/s)
- $Q_{Max\ Inst}$ = Caudal máximo instantáneo de aguas residuales domésticas (l/s)
- Q_{inf} = Caudal de aguas de infiltración (l/s)
- Q_{ili} = Caudal de aguas de conexiones ilícitas (l/s)

5.1. Caudal de aguas residuales domésticas propiamente dichas (Q ard)

En el dimensionamiento de redes de alcantarillado sanitario, el caudal de aguas residuales domésticas propiamente dichas, se estima a partir del consumo real o proyectado de agua potable, aplicando un coeficiente de retorno que representa la fracción del volumen suministrado que efectivamente ingresa al sistema de alcantarillado. En términos técnicos, el caudal medio diario do-

méstico puede expresarse como el producto entre la población servida, al final del periodo óptimo de diseño, la dotación neta per cápita y el coeficiente de retorno (Tchórzewska-Cieślak et al., 2024).

Para calcular este caudal, se puede hacerlo mediante la ecuación 20 (CONAGUA, 2019a).

$$Q_{ard} = \frac{CR * C * D * A}{86400} \qquad (20)$$

En donde:

Qard: Caudal medio de aguas residuales domésticas medido en l/s.

CR: coeficiente de retorno se toma del 70% al 80%

C: Consumo neto de agua potable (l/hab - día)

D: densidad de la población de la zona (hab/ha)

A: área de drenaje de cada colector o de toda la zona (ha)

Coeficiente de retorno (CR)

El coeficiente de retorno en el dimensionamiento del caudal de aguas residuales domésticas representa la fracción del consumo de agua potable que efectivamente ingresa al sistema de alcantarillado, descontando pérdidas por riego, evaporación, fugas internas o consumos no descargados; en la práctica, este parámetro vincula la dotación per cápita con el caudal sanitario medio, lo que permite estimar con mayor realismo las cargas hidráulicas que recibirá la red. La literatura técnica promovida por la International Water Association (IWA) señala que su valor debe ajustarse a las condiciones locales de uso, clima y hábitos de consumo, recomendando rangos típicos entre 0,70 y 0,90 cuando no se dispone de mediciones directas, y enfatiza que, en sistemas existentes, el coeficiente debe verificarse mediante balances hídricos sectorizados, comparación entre volúmenes facturados y caudales medidos en colectores, o aforos continuos en periodos representativos para discriminar infiltración e ingresos indebidos (Bursill, 2001).

En la Tabla 36 se presentan los coeficientes de retorno de acuerdo con literatura y códigos de diseño.

Tabla 36

Coeficiente de retorno de acuerdo con varios autores

Normativa / Literatura	Enfoque Metodológico	Rango Típico CR	Criterio de Aplicación	Referencia
International Water Association (IWA)	Balance hídrico, análisis de consumos reales y calibración con datos medidos.	0.70 – 0.90	Ajustar con sectorización y macromedición en sistemas existentes.	(Bursill, 2001)
Metcalf & Eddy – Wastewater Engineering	Relación entre dotación per cápita y descarga efectiva considerando hábitos y clima.	≈ 0.80	Valor de referencia cuando no existen mediciones locales.	(Tchobanoglous George et al., 2003)
RAS Colombia (2017)	Fracción del consumo doméstico diferenciando infiltración e ingresos indebidos.	0.75 – 0.85	Diseño preliminar con ajuste posterior mediante aforos.	(Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009, 2017)
Normativa Ecuatoriana (MIDUVI / ex IEOS)	Relación entre dotación y aporte al alcantarillado sanitario.	≈ 0.80	Aplicable en estudios definitivos cuando no se disponga de datos medidos.	(Normas de Diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009)
U.S. EPA – Wastewater Collection Systems Manual	Correlación consumo–descarga y análisis de caudal base con monitoreo en campo.	0.70 – 0.90	Recomendado en evaluación y rehabilitación de redes en operación.	(U.S. Environmental Protection Agency, 2004)

Área de drenaje de cada colector

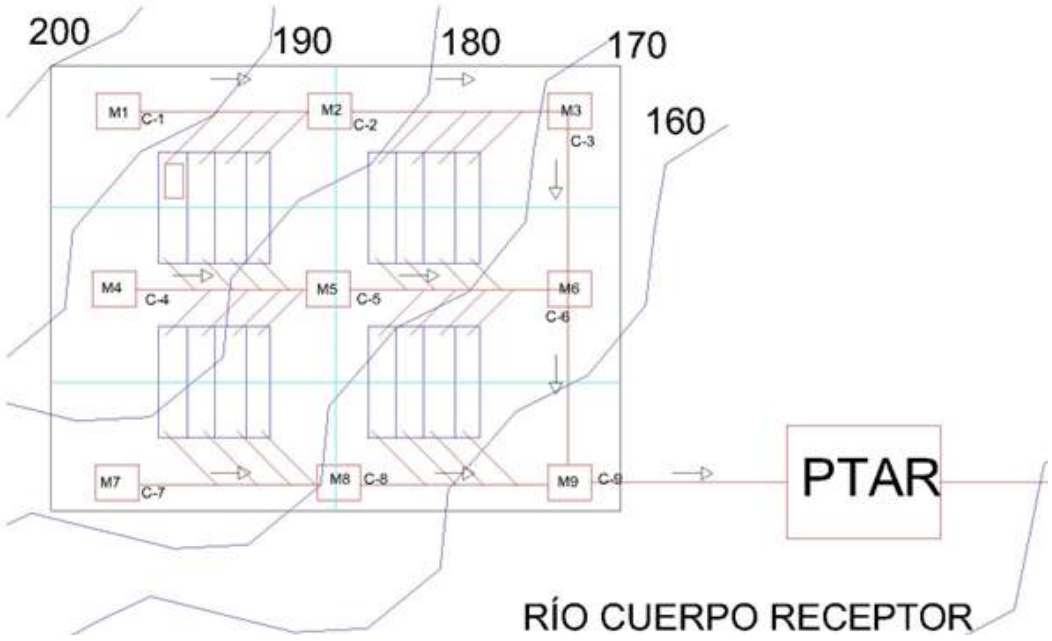
En el dimensionamiento de sistemas de alcantarillado sanitario, las áreas de drenaje se entienden como las superficies territoriales que aportan descargas de aguas residuales domésticas hacia un punto específico de la red, ya sea un tramo de tubería, un pozo de revisión o un colector principal. Estas áreas no solo representan una delimitación geográfica, sino que constituyen una

unidad funcional de generación de caudal, ya que integran variables como densidad poblacional, uso del suelo, dotación de agua potable y coeficientes de retorno. A partir de su correcta delimitación, en función de la topografía, trazado vial, ubicación de los predios, y como factor limitante, donde está o estará ubicada la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Es posible estimar el caudal medio y posteriormente los caudales máximos de diseño, garantizando que la infraestructura hidráulica tenga la capacidad suficiente para transportar las descargas sin generar sobrecargas ni fallas operativas (Merchán-Sanmartín et al., 2022).

En la Figura 101 se presenta un ejemplo de cómo se tiene que realizar el trazo de los pozos y colectores, del drenaje sanitario, en función de la concepción de sacar el agua, la ubicación de los predios y de la PTAR, todo es cuadrado para facilitar el cálculo del área de cada colector. Existen 9 pozos o manhole y 9 colectores, el área del proyecto es la unidad, así, los colectores C-1, C-2, C-7 Y C-8, se llevan la 1/8 del total del drenaje sanitario, los colectores C-4 y C-5 drenan la mitad, completando el 100%, por otro lado, C-3 es un colector de tránsito para evacuar C-1 y C-2, el colector C-6 se lleva el agua de C-3, C-4 y C-5, finalmente C-9 se lleva todas las aguas residuales domésticas de la población. El caudal de C-9 debe ser igual a la suma de todos los parciales como una comprobación.

Figura 100

Red de eje



5.2. Caudal Máximo Instantáneo de aguas residuales domésticas ($Q_{Max\ Inst}$)

El caudal máximo instantáneo de aguas residuales domésticas corresponde al valor pico que puede presentarse en un intervalo muy corto dentro del patrón diario de descarga sanitaria, reflejando la superposición simultánea de aportes individuales en la red de alcantarillado. Este parámetro es fundamental para el dimensionamiento hidráulico de colectores y estaciones de bombeo, ya que condiciona la capacidad estructural y la prevención de sobrecargas transitorias. El cálculo se obtiene de multiplicar el caudal de aguas residuales domésticas propiamente dichas por un factor de punta o coeficiente de variación horaria que depende del tamaño poblacional y de la variabilidad del consumo, utilizando formulaciones empíricas como la expresión de Harmon o curvas derivadas de monitoreo en campo. Estudios recientes destacan que la magnitud de este pico disminuye conforme aumenta la población contribuyente, debido al efecto de amortiguamiento estadístico de las descargas individuales (Sweetapple et al., 2019).

En la Tabla 37 se presentan algunas metodologías para calcular los factores de punta o de mayoración que se le multiplica por el caudal de aguas residuales domésticas propiamente dichas (Imam & Elnakar, 2014).

Tabla 37

Factores de punta o de mayoración

Método	M	Condiciones
Babbit y Bauman	$\frac{5}{P^{0.2}}$	$1 \leq P \leq 1000$ *P en miles*
Harmon	$1+\frac{14}{4+\sqrt{P}}$ Ó $2.5 \approx \frac{4.2}{P^{0.16}}$	P en miles
Munksgaard and Young	$\frac{2.97}{Q_m^{0.0907}}$	Qm, en m³/s
	$\frac{2.9}{Q_m^{0.0902}}$	Qm, en m³/s
	$\frac{1.75}{Q_m^{0.036}}$	Qm, en m³/s

El caudal máximo instantáneo se obtiene de acuerdo con la ecuación 21.

$$Q_{Max\ Inst} = Q_{ard} * M \quad (21)$$

Donde:

$Q_{Max\ Inst}$ = Caudal máximo instantáneo

Q_{ard} = Caudal medio de aguas residuales domésticas propiamente dichas

M = Factor de punta o mayoración

5.3. Caudal de aguas residuales industriales (Q_{ind})

La estimación del caudal de aguas residuales industriales constituye un insumo crítico para el diseño hidráulico de sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que estos efluentes presentan variabilidad significativa en función de los procesos productivos, los ciclos de operación y las prácticas de consumo de agua dentro de cada instalación. Una cuantificación inadecuada puede generar sub-dimensionamientos, sobrecargas hidráulicas y deficiencias en la eficiencia de remoción de contaminantes. Desde el punto de vista metodológico, el caudal debe determinarse preferentemente mediante mediciones directas en campo, campañas de muestreo y censo sanitarios, durante periodos representativos de operación, incluyendo horas pico y variaciones semanales. En ausencia de registros instrumentados, puede estimarse a partir del balance hídrico del proceso, considerando consumos unitarios por unidad de producción, coeficientes de descarga y factores de simultaneidad. Esta aproximación permite integrar la dinámica real del proceso industrial con criterios de diseño hidráulico y sanitario, reduciendo la incertidumbre en la planificación de infraestructura de saneamiento.

A falta de información, en Ecuador, se puede utilizar la normativa como la NEC-11 Capítulo 16. (NEC-11, 2011), y también literatura especializada como (Pérez-Carmona, 2018). En donde se tienen consumos de agua de diversas actividades económicas.

5.4. Caudal de aguas de infiltración (Q_{inf})

En el dimensionamiento de sistemas de alcantarillado sanitario, el caudal por infiltración corresponde al volumen de agua subterránea que ingresa de manera no intencional a la red a través de juntas defectuosas, fisuras, conexiones domiciliarias deterioradas y estructuras como pozos de revisión, especialmente cuando el nivel freático se encuentra por encima de la generatriz inferior de la tubería, no es lo ideal, pero es necesario considerarlo. Este aporte, aunque no proviene del consumo doméstico, incrementa de forma sostenida el caudal base que debe transportarse y tratarse, afectando la capacidad hidráulica disponible y la eficiencia operativa del sistema. La infiltración puede estimarse mediante análisis de caudales nocturnos mínimos, balances hidráulicos en subcuencas y modelación calibrada con monitoreo continuo, diferenciando infiltración permanente de aportes rápidos asociados a eventos de lluvia (Karpf & Krebs, 2011).

Para calcular este caudal se puede emplear tasas unitarias (L/s·km de colector o L/s·ha), correlaciones con la longitud de red y profundidad del nivel freático, o ajustes derivados de campañas de aforo en periodos secos prolongados. Los últimos estudios lo cuantifican basados en datos reales y la sectorización hidráulica para reducir incertidumbre en el diseño y optimizar la capacidad instalada de las plantas de tratamiento (Tesfamariam et al., 2024).

Método del cálculo de aguas de infiltración por tasa unitaria por longitud de red

(Karpf & Krebs, 2011) proponen la ecuación 22.

$$Q_{inf} = q_i \times L \qquad (22)$$

Donde:

Q_{inf} = caudal de infiltración (l/s)

q_i = Tasa unitaria de infiltración (l/s-km)

L = Longitud del colector en km

Adicionalmente, se reportan los valores típicos de qi, de 0.05 a 0.40 l/s-km para sistemas nuevos y de 0.40 a 1.50 l/s-km, para redes antiguas o deterioradas.

Método de cálculo de aguas de infiltración basado en caudal nocturno mínimo (MNF – Minimum Night Flow)

El método emplea la separación de los componentes del caudal (Schilperoort, 2011), ecuación 23.

$$Q_{inf} = Q_{MNF} - Q_{dom,noche} \quad (23)$$

Donde:

Q_{inf} = caudal de infiltración (l/s)

Q_{MNF} = Caudal mínimo nocturno medio (l/s)

$Q_{dom, noche}$ = Aporte sanitario doméstico estimado en horario nocturno

Método de cálculo de aguas de infiltración basado en la proporción del caudal medio diario

El método se puede aplicar cuando no existen mediciones directas, aplicado en normativas de América Latina y en estudios de IWA, ecuación 24.

$$Q_{inf} = \alpha \times Q_{ard} \quad (24)$$

Donde:

Q_{inf} = caudal de infiltración (l/s)

α = fracción de infiltración (usualmente 0.05 a 0.25)

Q_{ard} = Caudal medio de aguas residuales domésticas propiamente dichas (l/s)

Método de cálculo de aguas de infiltración en Ecuador

En el Ecuador, el caudal de infiltración, se considera un aporte adicional permanente al caudal sanitario doméstico de diseño. Al no tener mediciones locales, se recomiendan valores referenciales por km de red, estos valores se tienen que ajustar en aforos en periodo seco (Secretaría del Agua, 1992), ecuación 25.

$$Q_{inf} = q_i \times L \quad (25)$$

Donde:

Q_{inf} = caudal de infiltración (l/s)

q_i = Tasa unitaria de infiltración (l/s-km). Para sistemas nuevos de 0.10 a 0.30 l/s-km y para redes existentes o antiguas de 0.30 a 1.0 l/s-km

L = Longitud del colector en km

5.5. Caudal de aguas de conexiones ilícitas (Q_{ili})

Los caudales de conexiones ilícitas deben considerarse en las variables de incertidumbre y determinarse empleando balances hidráulicos, consumos facturados y caudales medidos en atarjeas y colectores. Para calcular este valor se utilizan factores de mayoración aplicados al caudal doméstico base, o modelos de estimación indirecta basados en densidad poblacional y dotaciones unitarias. El procedimiento inicia con la comparación del volumen de agua potable suministrada en un área de drenaje ajustada por coeficientes de retorno, con el caudal efectivamente registrado en puntos de control del sistema, una vez descontadas infiltraciones y aportes pluviales (Butler et al., 2017).

En el Ecuador, en el dimensionamiento de redes sanitarias es indispensable incorporar el caudal adicional que ingresa por conexiones inadecuadas de drenaje pluvial domiciliario, como bajantes de cubiertas y patios conectados indebidamente al sistema de aguas residuales. Este componente depende tanto del grado de control técnico sobre las instalaciones internas como de la existencia y funcionamiento de infraestructuras específicas para captar y conducir aguas lluvias. Para su cuantificación deben emplearse antecedentes locales sobre conexiones erróneas y, cuando sea posible, análisis comparativos entre caudales en periodo húmedo y en periodo seco en zonas con características semejantes. Si no se dispone de mediciones directas, pueden adoptarse valores referenciales establecidos en normativa técnica o estimarse como un porcentaje del caudal medio diario doméstico, siempre con sustento técnico. En sectores donde no exista red pluvial independiente, deben asumirse aportes máximos de drenaje de lluvia hacia el sistema sanitario. Para el nivel bajo de complejidad del sistema el aporte de conexiones erradas puede estimarse en 5 l/hab-día (Normas de Diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009).

En la Tabla 38 se presentan valores referencias de los parámetros de diseño de la Empresa de Agua de Quito (Normas de Diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009).

Tabla 38

Aportes máximos por conexiones erradas

Nivel de complejidad del sistema	Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial l/s-ha	Aportes máximos por drenaje domiciliario de aguas lluvias sin sistemas pluvial l/s-ha	(*)
Bajo y medio	0.2-2.0	4-20*	Debe disponerse de sistema pluvial o combinado a mediano plazo
Medio alto y alto	0.1-1.0	2-20*	

Metodología de IWA para calcular el caudal de aguas de conexiones ilícitas (Q_{ili})

A continuación, se presenta la metodología para calcular el caudal de conexiones ilícitas de acuerdo con (Bareš et al., 2009; Beheshti & Sægrov, 2019).

1. Delimitación y monitoreo de la cueca urbana

Defina un área de drenaje "controlable" (sector hidráulico) e instale medición continua de caudal (y nivel si aplica) en el colector de salida, más pluviógrafo cercano. El objetivo es construir una serie temporal para separar DWF (dry weather flow) y eventos.

2. Construcción de la línea base sanitaria (DWF)

Seleccione días secos (sin lluvia o lluvia despreciable) para estimar el patrón diurno.

Estime el caudal sanitario esperado por balance simple (población/usuarios + consumo específico + aportes no domésticos).

Un planteamiento típico de balance para DWF se expresa con la ecuación 26

$$DWF = P \times G + I + E \qquad (26)$$

Donde:

DWF = Dry weather flow

P = Población servida

G = Consumo per cápita

I = Infiltración, ingresos ilícitos

E = aportes no domésticos

Para separar la infiltración base, un supuesto práctico es el mínimo nocturno (minimun night Flow)

3. Estimación del caudal atribuible a conexiones ilícitas por hidrograma

Para cada intervalo t:

$$Q_{extra}t = Q_{medido}t - Q_{DWF-base}t$$

En eventos de lluvia, el volumen extra:

$$V_{extra,evento} = \sum Q_{extra}t \times \Delta t$$

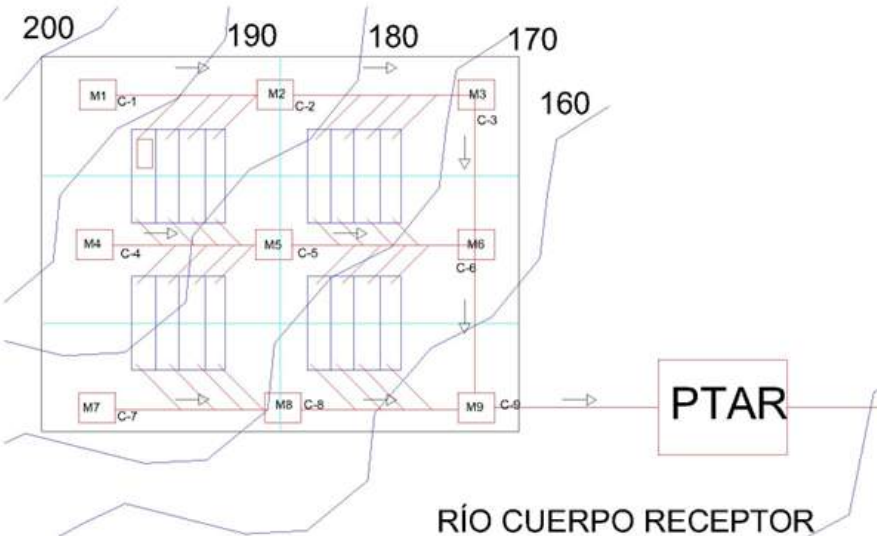
Se interpreta como inflow (ingreso rápido) dominado por conexiones ilícitas (pluviales al sanitario), una vez que se haya descontado la infiltración base y aportes industriales programados.

Confirmación con señales de calidad con un trazador. Localización de las conexiones ilícitas.

5.6. Ejercicio de aplicación para obtener los caudales del drenaje sanitario

Calcular el drenaje sanitario de la población futura de la provincia de Manabí de 5000 hab, con un coeficiente de retorno del 70% y una densidad de 70 hab/(km^2), y una dotación real de 200 l/(hab*día.).

Se esquematiza el funcionamiento de la red de drenaje sanitario para el presente ejemplo, todo cuadrado, para que sea más fácil el cálculo de las áreas de drenaje de cada colector.



Resolución:

Para el diseño del alcantarillado sanitario se debe calcular el caudal que llegara al emisor con la expresión:

$$\boldsymbol{Q_{dard} = Q_{Max\ Inst} + Q_{ind} + Q_{inf} + Q_{ili}}$$

Donde:

Q_{dard} = Caudal de diseño de aguas residuales domésticas (l/s)

Q_{ind} = Caudal de aguas residuales industriales (l/s)

$Q_{Max\ Inst}$ = Caudal máximo instantáneo de aguas residuales domésticas (l/s)

Q_{inf} = Caudal de aguas de infiltración (l/s)

Q_{ili}= Caudal de aguas de conexiones ilícitas (l/s)

Se comienza calculando la dotación neta.

$$\boldsymbol{Dotación\ neta} = \frac{Dot.real}{(1 - \%\ ANC)}$$

$$\boldsymbol{ANC = 25\%}$$

$$D_{NETA} = 266{,}67\ \frac{l}{hab * día}$$

En base a la densidad se calcula el área.

$$Pob = densidad * área$$

$$A = 71{,}43\ km^2$$

En la siguiente tabla se calcula el caudal de aguas residuales domesticas en cada colector, en litros por segundo. Este se calcula de acuerdo con la siguiente expresión.

$$Q_{ard} = \frac{CR * C * D * A}{86400}$$

En la Tabla 39 se presenta un resumen de los resultados del caudal de aguas residuales domésticas propiamente dichas de cada colector.

Tabla 39

Cálculo del caudal de aguas residuales domésticas de cada colector

Calcular	l/s
Qard C-1	1.35031
Qard C-2	1.35031
Qard C-3	2.70062
Qard C-4	2.70062
Qard C-5	2.70062
Qard C-6	8.10185
Qard C-7	1.35031
Qard C-8	1.35031
Qard C-9	10.80247

Los caudales de aguas residuales también se pueden calcular multiplicando la dotación neta por el número de habitantes, en este caso se debe conocer cuántos habitantes descargan a cada colector, y se los puede obtener al tener el área tributaria de aporte y la densidad.

Caudal de infiltración en cada colector, se tienen los resultados a partir de lo que propone (CPE INEN 05, 1992).

$$Q_{inf} = 0.8 \left[\frac{l}{seg-km}\right]$$
$$Q_{inf}i = Q_{inf} * L$$

Donde: Q_{inf} *i* es el caudal de infiltración en cada colector $\left[\frac{l}{seg}\right]$

Q_{inf} es el caudal de infiltración por Kilómetro de tubería en $\left[\frac{l}{seg-km}\right]$

L es la distancia de la tubería en [km], para el ejercicio de pozo a pozo son 100 m, se tiene la Tabla 40 con esos cálculos.

Tabla 40

Cálculo del caudal de infiltración en cada colector.

COLECTOR	l/s
Qinf C-1	0.08
Qinf C-2	0.16
Qinf C-3	0.24
Qinf C-4	0.08
Qinf C-5	0.16
Qinf C-6	0.48
Qinf C-7	0.08
Qinf C-8	0.16
Qinf C-9	0.72

Caudal de conexiones ilícitas en cada colector, de igual manera, los resultados de estos caudales en se pueden visualizar en la Tabla 41 de acuerdo con (CPE INEN 05, 1992).

$$Q_{ilic} = 80 \left[\frac{l}{hab - día}\right]$$

Para el cálculo del caudal de aguas por conexiones ilícitas se puede hacer uso de la expresión:

$$Q_{ilic}i = \frac{Q_{ilic} \times D \times A}{86400}$$

Donde:

Q_{ilic} i = caudal medio de aguas residuales domésticas, l/s;

Q_{ilic} = caudal de conexiones ilícitas por habitante, [l/(hab-día)];

D = densidad de población de la zona hab./ha,

A = área de drenaje de la zona, ha.

Tabla 41

Cálculo del caudal de aguas ilícitas.

COLECTOR	l/s
Qilic C-1	0.579
Qilic C-2	0.579
Qilic C-3	1.157
Qilic C-4	1.157
Qilic C-5	1.157
Qilic C-6	3.472
Qilic C-7	0.579
Qilic C-8	0.579
Qilic C-9	4.630

Para calcular el caudal máximo instantáneo se puede hacer con la ecuación 27.

$$Q_{Max\ Ins}i = M * Q_{ard}i \qquad (27)$$

Es: $Q_{Max\ Inst}$ i es el caudal máximo instantáneo en cada colector [l/seg]

M es el coeficiente de Harmon.

Coeficiente de Harmon, en cada colector se ha calculado y se presenta en la Tabla 42.

Tabla 42

Valor del coeficiente M

Caso	Valor del coeficiente M
Población acumulada menor de 1 000 habitantes	3.8
Población acumulada mayor que 63454 habitantes	2.17
Zonas comerciales e industriales.	1.15

Para aquellos valores que no se encuentren la tabla el coeficiente se lo calcula con la ecuación 28.

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \qquad (28)$$

Donde: *M* es el coeficiente de Harmon.

P es el número de habitantes que descargan en cada colector expresada en miles Tabla 43.

Tabla 43

Cálculo del coeficiente de Harmon.

COLECTOR	l/s
M C-1	3.922
M C-2	3.922
M C-3	3.735
M C-4	3.735
M C-5	3.735
M C-6	3.358
M C-7	3.922
M C-8	3.922
M C-9	3.245

Se ha calculado el caudal máximo instantáneo en cada colector a partir de la expresión y se expresa en la Tabla 44.

Tabla 44

Cálculo del caudal máximo instantáneo en cada colector.

COLECTOR	l/s
Q Max Inst C-1	5.2965
Q Max Inst C-2	5.2965
Q Max Inst C-3	10.0880
Q Max Inst C-4	10.0880
Q Max Inst C-5	10.0880
Q Max Inst C-6	27.2084
Q Max Inst C-7	5.2965
Q Max Inst C-8	5.2965
Q Max Inst C-9	35.0541

En la Tabla 45 se presenta el caudal de diseño calculado en cada colector:

Tabla 45

Cálculo del caudal de diseño.

COLECTOR	l/s	
Qdard C-1	5.9552	
Qdard C-2	6.0352	
Qdard C-3	11.4854	
Qdard C-4	11.3254	
Qdard C-5	11.4054	
Qdard C-6	31.1606	
Qdard C-7	5.9552	
Qdard C-8	6.0352	
Qdard C-9	40.4037	l/s
	0.0404	m^3/s

5.7. Criterios de diseño hidráulico del drenaje sanitario en flujo lámina libre

El drenaje sanitario, en los caudales mínimos, debe garantizar la autolimpieza, evitando que se acumulen sedimentos que pueden ocasionar taponamientos en la tubería. En régimen de flujo de lámina libre depende de la pendiente, velocidad mínima del flujo o la tensión necesaria para arrastrar los residuos (CEPIS, 2005).

La distancia mínima entre pozos de revisión depende del diámetro de la tubería: 100 m para diámetros menores a 350 mm, 150 m para diámetros entre 400 y 800 mm, y 200 m para diámetros superiores a 800 mm. En situaciones específicas, estas distancias pueden ampliarse si la topografía y el entorno urbano lo permiten, siempre que no superen la capacidad de los equipos de limpieza (Secretaría del Agua, 1992). Por cuestiones de mantenimiento se recomienda que los pozos no tengan una distancia mayor a los 100 m.

Profundidad mínima de pozos o de tuberías, se recomienda que no sobrepase los 5.0 m (CEPIS, 2005).

La velocidad mínima y máxima en el drenaje sanitario se establecen bajo condiciones de caudal máximo instantáneo, la velocidad del flujo no debe ser menor a 0.45 m/s, recomendándose que alcance valores superiores a 0.60 m/s, ya que esto contribuye a prevenir la acumulación de gas sulfhídrico en el agua residual. La velocidad máxima para tubería de PVC no debe superar de 4.5 a 5.0 m/s. La velocidad depende del material de la tubería y de sus especificaciones (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), 1992).

El diámetro mínimo del drenaje sanitario será de 200 mm, la velocidad mínima de 0.30 m/s, la pendiente mínima es del 0.2%, la pendiente máxima depende del material de la tubería y de su velocidad máxima, el caudal mínimo se revisará para la velocidad mínima, la profundidad mínima de la tubería es de 1.10 m al igual que los pozos (CONAGUA, 2019f).

La fuerza tractiva, también llamada tensión de arrastre, corresponde a la presión tangencial que el flujo ejerce sobre las paredes del conducto. En sistemas de alcantarillado, esta tensión debe ser al menos de 1.0 Pa, sin embargo, en los tramos iniciales se admite una reducción hasta 0.60 Pa (CEPIS, 2005).

La tensión tractiva se establece mediante la ecuación 29.

$$t = \rho * g * R * S \qquad (29)$$

Donde:

ρ=densidad del agua

g=gravedad

R=Radio hidráulico

S=Pendiente del tramo

Pendientes máxima y mínima

En el video se encuentra explicado a detalle cómo calcular el caudal de aguas residuales domésticas propiamente dichas:





CAPÍTULO VI

Diseño del drenaje pluvial

6. Introducción al drenaje pluvial

El alcantarillado pluvial constituye la infraestructura destinada a captar, conducir y evacuar las escorrentías generadas por eventos de precipitación en áreas urbanas, con el propósito de mitigar inundaciones, proteger la integridad estructural de la ciudad y reducir impactos ambientales sobre cuerpos receptores. En contextos de urbanización acelerada y cambio climático, estos sistemas han evolucionado desde esquemas puramente hidráulicos hacia enfoques integrados que combinan modelación hidrológica, soluciones basadas en la naturaleza (SbN) y criterios de resiliencia urbana. La literatura reciente destaca que la adecuada caracterización de la intensidad-duración-frecuencia (IDF) de las lluvias y la incorporación de medidas de drenaje sostenible son determinantes para optimizar el desempeño hidráulico y ambiental de las redes pluviales. En consecuencia, el diseño contemporáneo del alcantarillado pluvial no solo responde a criterios de capacidad hidráulica, sino también a principios de gestión integral del riesgo y adaptación climática (Zhou, 2014; Zhou et al., 2012).

6.1. Obtención de datos climatológicos para el diseño del drenaje pluvial

En el Ecuador la información de variables climáticas la proporciona el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (INAMHI, 2026). La confiabilidad del diseño de un sistema de drenaje pluvial depende directamente de la calidad, representatividad y consistencia de los registros hidrometeorológicos empleados. La obtención sistemática de series históricas de precipitación, con una resolución temporal adecuada, permite construir curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) y estimar eventos de diseño coherentes con el período de retorno adoptado. Asimismo, la depuración, validación y eventual de datos faltantes mediante métodos estadísticos o correlaciones regionales son procesos esenciales para reducir sesgos en la estimación de caudales máximos y minimizar incertidumbres hidráulicas. En contextos donde existen discontinuidades o brechas en la información, la aplicación de técnicas de relleno basadas en estaciones vecinas, regresiones múltiples o métodos geoestadísticos mejora la robustez del análisis hidrológico (Teegavarapu & Chandramouli, 2005).

En el trabajo, relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media, se describe con dos cuencas hidrográficas de los Andes y del litoral, cuáles son los métodos estadísticos de mayor representatividad para rellenar datos faltantes y calcular la precipitación media (D. V. Carrera-Villacrés et al., 2016). En consecuencia, una base hidrometeorológica sólida no solo optimiza el dimensionamiento hidráulico de colectores y estructuras complementarias, sino que también incrementa la resiliencia del sistema frente a la variabilidad climática y a la ocurrencia de eventos extremos.

En el artículo: Relación espacio-temporal entre estaciones utilizadas para el relleno de datos de precipitación en Chone, Ecuador, demostró, que la aplicación de regresión lineal simple permitió reconstruir con consistencia la serie histórica de precipitación mensual de la estación Chone (M0162), estimando 65 valores faltantes, equivalentes al 10% del total de la base analizada (1962–2015). Los coeficientes de correlación obtenidos en el proceso de relleno fueron superiores a 0.5, evidenciando relaciones positivas de magnitud moderada a alta entre la estación principal y las estaciones auxiliares. La validación estadística mediante el test de rachas confirmó la aleatoriedad y coherencia de los datos estimados, mientras que la curva de doble masa garantizó la homogeneidad de la serie corregida. Asimismo, el análisis espacial reveló que la correlación promedio entre estaciones disminuye conforme aumenta la distancia horizontal, estableciéndose una relación lineal inversa entre distancia (d) y coeficiente de correlación (r). Se concluyó que las estaciones ubicadas a menos de 100 km presentan mayor representatividad climática, siendo la estación Río Grande la que mostró el mayor nivel de asociación con la estación de Chone, lo que respalda los criterios de representatividad espacial establecidos por la OMM (Ayala et al., 2018).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) es el organismo especializado del sistema de las Naciones Unidas encargado de coordinar la cooperación internacional en materia de tiempo, clima y recursos hídricos. Sus competencias abarcan la estandarización de métodos de observación y medición atmosférica, la armonización de redes de estaciones meteorológicas e hidrológicas y la validación de protocolos técnicos para el intercambio global de datos. A través de marcos normativos y programas científicos, promueve la vigilancia continua del sistema climático, el desarrollo de modelos numéricos de predicción y la emisión de alertas tempranas frente a fenómenos extremos. Asimismo, fortalece las capacidades técnicas de los servicios meteorológicos e

hidrológicos nacionales, impulsa investigaciones sobre variabilidad y cambio climático y facilita la transferencia tecnológica entre países. En el ámbito de la gestión del riesgo, contribuye a la reducción de desastres mediante sistemas de monitoreo y comunicación estandarizados, apoyando la toma de decisiones basadas en evidencia científica para la protección de vidas, infraestructura y recursos naturales (OMM, 2026).

6.2. Tratamiento de datos meteorológicos para determinar la estacionalidad

La modelación y estimación de caudales pluviales, resulta metodológicamente imprescindible examinar la dinámica interna de las series temporales hidrológicas, particularmente su grado de estacionariedad, presencia de tendencias, cambios estructurales y posibles comportamientos no lineales o caóticos. La hipótesis clásica de estacionariedad, sobre la cual se fundamentan numerosos métodos estadísticos y probabilísticos en ingeniería hidráulica, no puede ser representativa por la variabilidad climática, la urbanización acelerada y los efectos del cambio climático, generando sesgos significativos en la estimación de eventos extremos y en los parámetros de diseño. La identificación previa de no estacionariedad y de dinámicas complejas mediante pruebas estadísticas robustas, análisis espectral y métricas de entropía mejora sustancialmente la confiabilidad predictiva y reduce la incertidumbre asociada a la extrapolación de periodos de retorno. La caracterización estructural de las series antes de su utilización en modelos hidrológicos no constituye una etapa opcional, sino un requisito técnico para sustentar decisiones de diseño y gestión del riesgo bajo escenarios hidroclimáticos cambiantes (Levin, 2025; Serinaldi & Kilsby, 2015).

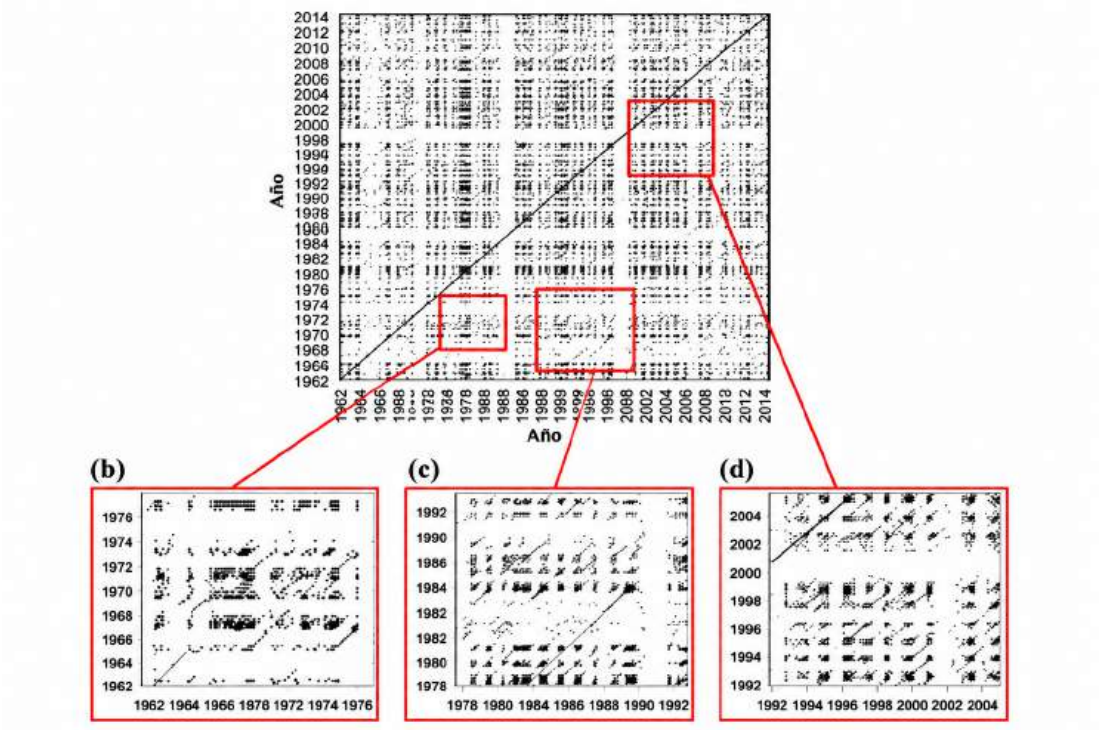
En estudios realizados en el Ecuador sobre la dinámica temporal de las series mensuales de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento registradas en la estación climatológica principal de Chone (M0162), se han aplicado herramientas de análisis no lineal derivadas de la teoría del caos. A partir de datos proporcionados por el INAMHI, estas series fueron desestacionalizadas y sometidas a reconstrucción de espacio de fases mediante el método de retardos temporales, así como al análisis de mapas recurrentes y cuantificación de recurrencia. Los resultados indicaron que los diagramas de espacio de fases sugieren comportamientos cercanos a la aleatoriedad, los

mapas recurrentes evidencian estructuras diagonales y patrones que revelan un grado medible de determinismo. La prueba de los sustitutos, basada en el estadístico de determinismo (DET) permitió rechazar la hipótesis de estocasticidad en todas las variables, identificando dinámicas no puramente aleatorias. No obstante, los autores advierten que las técnicas empleadas no son suficientes para confirmar formalmente la existencia de caos, recomendando complementar el análisis con herramientas adicionales como exponentes de Lyapunov para una caracterización definitiva de la dinámica atmosférica local.

En la Figura 101 se presenta el mapa de recurrencia de la precipitación de la estación de Chone (Ayala, Tierra, et al., 2018).

Figura 101

Se muestra en (a): el mapa recurrente de la variable precipitación. En (b), (c) y (d): se indican las estructuras encontradas en tres acercamientos de distintas zonas del mapa recurrente.



El estudio de la dinámica de las series temporales meteorológicas mediante herramientas de análisis no lineal permite evidenciar que los sistemas atmosféricos no responden únicamente a comportamientos aleatorios o estrictamente periódicos, sino que presentan componentes deterministas complejos asociados a forzamientos internos y externos. La intervención antropogénica ha modificado de manera persistente los patrones estacionales del sistema

climático terrestre, alterando la amplitud, duración y sincronía de los ciclos hidrometeorológicos. Bajo este escenario, la caracterización dinámica de las series temporales adquiere un valor estratégico, ya que permite detectar cambios estructurales, transiciones de régimen y pérdida de estacionariedad que no son captados por enfoques lineales tradicionales (Stine & Huybers, 2012).

En el video, series temporales lineales y no lineales con R e interpretación con IA de datos de precipitación Chone, se explica a detalle cómo se determina este comportamiento:



6.3. Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) para la gestión del escurrimiento pluvial en cuencas urbanas

Las dinámicas contemporáneas de urbanización han transformado de manera sustancial el comportamiento hidrológico de las cuencas urbanas. La sustitución de coberturas naturales por superficies impermeables, vías, cubiertas y áreas pavimentadas, altera los procesos de infiltración, evapotranspiración y almacenamiento temporal del agua lluvia, incrementando los volúmenes y picos de escorrentía superficial. Como consecuencia, los sistemas convencionales de drenaje pluvial, diseñados bajo enfoques predominantemente estructurales y centralizados, enfrentan crecientes limitaciones para mitigar inundaciones, reducir cargas contaminantes y adaptarse a escenarios de variabilidad climática (Albert et al., 2019).

En este contexto, las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) emergen como un enfoque integrador que articula infraestructura verde, restauración ecológica y diseño urbano sensible al agua. Las SbN promueven la recuperación de funciones ecosistémicas clave, como la retención hídrica, la filtración natural y la regulación térmica, en las cuencas urbanas. Elementos como techos verdes, pavimentos permeables, zanjas de infiltración, humedales artificiales y corredores ribereños rehabilitados contribuyen a desacoplar la relación directa entre precipitación y escorrentía, favoreciendo procesos de laminación de caudales y mejora de la calidad del agua (Frantzeskaki, 2019).

La incorporación de estas estrategias en la planificación de cuencas urbanas no solo responde a criterios hidráulicos, sino también a principios de resiliencia, sostenibilidad y co-beneficios socioambientales. Al integrar procesos naturales en el diseño del drenaje urbano, se posibilita una gestión más adaptativa del riesgo hídrico, alineada con enfoques contemporáneos de desarrollo urbano sostenible y gobernanza del agua. Por tanto, el análisis de las SbN para el manejo del escurrimiento pluvial representa un campo prioritario para la ingeniería hidrosanitaria y la planificación territorial, particularmente en ciudades que enfrentan presión demográfica, expansión desordenada y eventos de lluvia cada vez más intensos (IUCN, 2016).

En trabajos realizados en el Ecuador, en especial en el volcán Ilaló, se han caracterizado aguas y suelos, y entre muchos factores, se ha demostrado que es el lugar en donde se encuentra la mayor tasa de degradación y pérdidas de suelos. En el libro: Ciencia del Suelo. Caracterización y Conservación en el Ecuador, se describen los métodos de análisis y los resultados del deterioro del volcán (D. Carrera-Villacrés, 2022). Por consiguiente, se han realizado varias propuestas de rehabilitación como la construcción de torres atrapanieblas en Ilaló con excelentes resultados (D. Carrera-Villacrés et al., 2020; D. V. Carrera-Villacrés, Carrera-Villacrés, Carrera Villacrés, et al., 2023). Y desde el año 2020 se han instalado diques permeables para detener la degradación de los suelos (D. Carrera-Villacrés, Gavilanes, et al., 2025) (Figura 102).

Figura 102

Diques permeables con materiales biodegradables construidos en las quebradas del volcán Ilaló



La aplicación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) en la quebrada Urku Huayku del volcán Ilaló demostró efectos positivos, tanto en la dinámica hidrológica como en la conservación del suelo. A partir de los sondeos eléctricos verticales se identificó una zona de recarga con resistividades bajas (≈20.5 Ω·m), asociadas a arenas saturadas, lo que permitió delimitar el flujo subterráneo hacia la fuente Kanguil Uku. La modelación geoestadística 3D confirmó que las principales líneas de flujo convergen hacia dicha surgencia, cuya descarga media fue de 0.267 l/s durante el periodo analizado. En paralelo, se detectó una pérdida del 25.93% en la conducción por fugas, evidenciando vulnerabilidad en la infraestructura existente.

Frente a este escenario, la implementación de diques permeables de bambú concebidos como infraestructura verde, incrementó el tiempo de residencia del agua, favoreció la infiltración, promovió la acumulación y compactación de sedimentos aguas arriba y contribuyó a estabilizar el cauce. Este enfoque permitió reducir procesos erosivos en suelos de cangahua, mejorar la retención hídrica en capas superficiales y potenciar la recarga del acuífero, mostrando que las SbN pueden complementar estrategias tradicionales de gestión hídrica en microcuencas andinas con estrés hídrico estacional (D. Carrera-Villacrés, Lima, et al., 2025).

En el trabajo: 3D Geostatistical Model for the Identification of Water Recharge Zones in the Mama Tena and Urku Huayku Basin of the Ilaló Volcano using Empirical Bayesian Kriging (EBK3D), identificó zonas potenciales de recarga hídrica, por motivos de los diques permeables construidos en el lugar, a partir de datos de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). A través de la interpolación y validación de cinco modelos de variograma, el modelo Thin Plate Spline presentó el mejor desempeño estadístico (RMSE = 67.72). Se realizaron mapas 3D de resistividad sísmica previamente con una calibración del modelo. Los resultados evidenciaron que los rangos de resistividad entre 0 y 50 Ω·m corresponden a arenas saturadas con mayor capacidad de infiltración, localizadas principalmente en el sector suroccidental de la cuenca, donde se concentra la dinámica de recarga hacia el sistema hidrogeológico debido a los diques permeables.

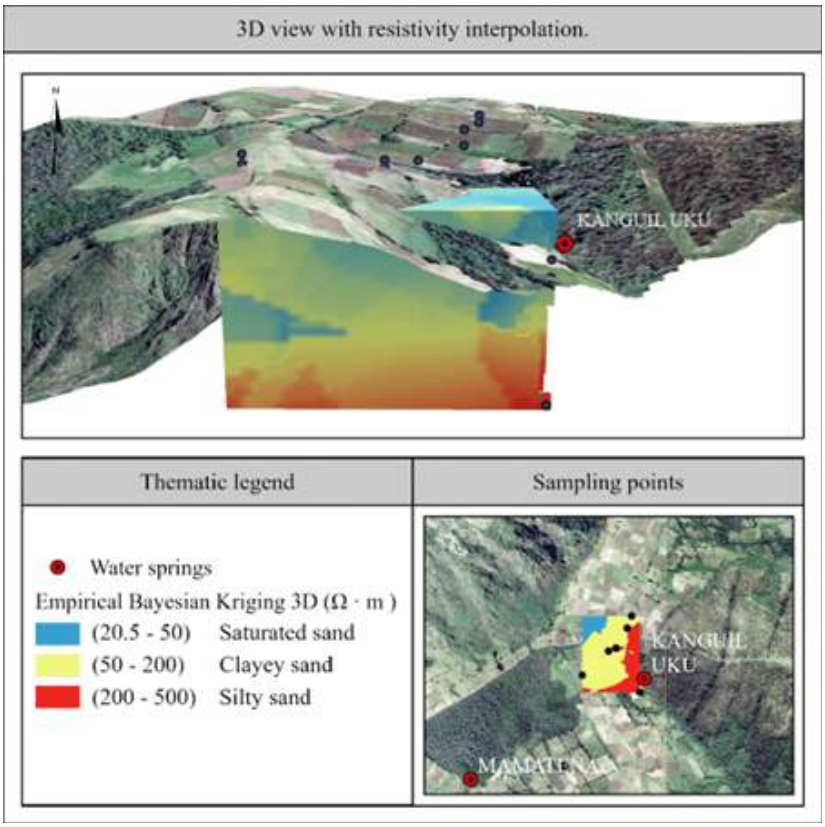
Asimismo, se identificaron unidades de arena limosa y arena arcillosa con menor permeabilidad relativa, lo que explica la regulación natural del flujo subterráneo. El análisis fisicoquímico del agua confirmó la influencia mineralógica del sustrato volcánico en la composición hidroquímica, caracterizada

por el predominio de bicarbonatos y una baja mineralización. La metodología empleada constituye una herramienta robusta para la delimitación de zonas estratégicas de recarga en ambientes volcánicos y aporta criterios técnicos para la planificación y gestión sostenible del recurso hídrico en sistemas de abastecimiento, con el apoyo de soluciones basadas en la naturaleza (D. Carrera-Villacrés et al., 2026).

En la Figura 103 se presentan las zonas de recarga de agua subterránea en el volcán Ilaló en donde se demuestra cómo se están saturando en agua los estratos subterráneos por la construcción de los diques permeables como SbN (D. Carrera-Villacrés et al., 2026).

Figura 103

Estratos subterráneos saturados con agua por efecto de los diques permeables construidos en el volcán Ilaló como soluciones basadas en la naturaleza



En las ciudades, cada vez se tiene más afectación por el cambio climático, y es perentorio la implementación de tecnologías sostenibles para gestionar el agua de manera eficiente. La infraestructura verde y las soluciones subterráneas integradas pueden transformar los centros urbanos; es necesario crear

entornos resilientes en donde se promueva un desarrollo sostenible para la adaptación al cambio climático. Las tecnologías sostenibles para fomentar la eficiencia hídrica y la resiliencia climática urbana las presenta la empresa Platigama wavin, algunas se indican en Figura 104 (Plastigama Wavin, 2026).

Figura 104

Eficiencia hídrica en edificaciones



6.4. Cálculo del caudal de diseño para el alcantarillado pluvial

El dimensionamiento hidráulico del alcantarillado pluvial exige una estimación rigurosa del caudal de escorrentía superficial, considerando la variabilidad espaciotemporal de la precipitación, la respuesta hidrológica de la cuenca urbana y los procesos de almacenamiento y retardo propios del entorno construido, la relación de zonas verdes y grises. En la práctica ingenieril contemporánea, el cálculo del caudal máximo de diseño se fundamenta en enfoques como el método racional, aplicado para cuencas urbanas de hasta 5 km² dependiendo de la homogeneidad del uso del suelo y del tiempo de concentración (Butler David et al., 2018).

Otros métodos para calcular los caudales pueden ser la hidrografía unitaria sintética, los modelos lluvia-escorrentía basados en el número de curva (SCS-CN) y la modelación hidrodinámica distribuida implementada en herramientas numéricas, que permiten integrar intensidad-duración-frecuencia (IDF), coeficientes de escorrentía dependientes del uso del suelo y efectos de cambio climático en escenarios prospectivos (Zhou, 2014).

El caudal de diseño para el drenaje pluvial está en función del periodo de retorno (T) y la duración de la lluvia (t). El periodo de retorno se refiere como el intervalo estadístico promedio en el cual se espera que un evento de lluvia con determinada intensidad o caudal máximo sea igualado o superado una vez; en términos probabilísticos, corresponde al inverso de la probabilidad anual de excedencia. No implica que el evento ocurra exactamente cada T años, sino que, en cualquier año dado, existe una probabilidad 1/T de que se produzca o supere ese umbral hidrológico. Por otro lado, la duración de la lluvia es el tiempo durante el cual actúa la precipitación considerada en el análisis y, en el marco del método racional y sus variantes, se adopta usualmente igual al tiempo de concentración de la cuenca (tc), bajo el criterio de que el caudal pico ocurre cuando toda el área contribuye simultáneamente al punto de descarga. La relación entre intensidad, duración y frecuencia (curvas IDF) permite vincular ambos conceptos en el dimensionamiento hidráulico de colectores, garantizando que la infraestructura tenga capacidad suficiente frente al nivel de riesgo aceptado en la planificación urbana (Fletcher et al., 2015).

Lo más importante en el diseño del drenaje pluvial será el tener un equilibrio entre el periodo de retorno, la duración de la lluvia y la parte económica. Un control en el origen de la cuenca urbana puede reducir el caudal pico mediante tres mecanismos hidráulicos: incremento del tiempo de concentración, disminución del coeficiente de escorrentía y reducción del área efectivamente contribuyente. En términos cuantitativos, para escenarios con índices de captura volumétrica de precipitación (PVCR) entre 60% y 85% y periodos de retorno de 0.5 a 20 años, la reducción del caudal pico en el mejor escenario osciló entre 17.4% y 71.8% en Kunming, 17.9% y 71.9% en Guiyang, 20.2% y 66.4% en Guangzhou y hasta 28.2% a 91.6% en Urumqi, mientras que en el peor caso la reducción fue constante y cercana al 5.83%.

Asimismo, el método permitió evidenciar que las soluciones basadas en infiltración y almacenamiento pueden disminuir el periodo de retorno equivalente del evento crítico, alcanzando factores de reducción entre 0.04 y 0.76

según el clima analizado, lo que confirma su potencial para mitigar riesgos de inundación urbana bajo escenarios de variabilidad climática (S. Wang & Wang, 2018).

Consideraciones preliminares para el diseño del drenaje pluvial

Antes de realizar el diseño del drenaje pluvial, es necesario tener presentes las siguientes consideraciones.

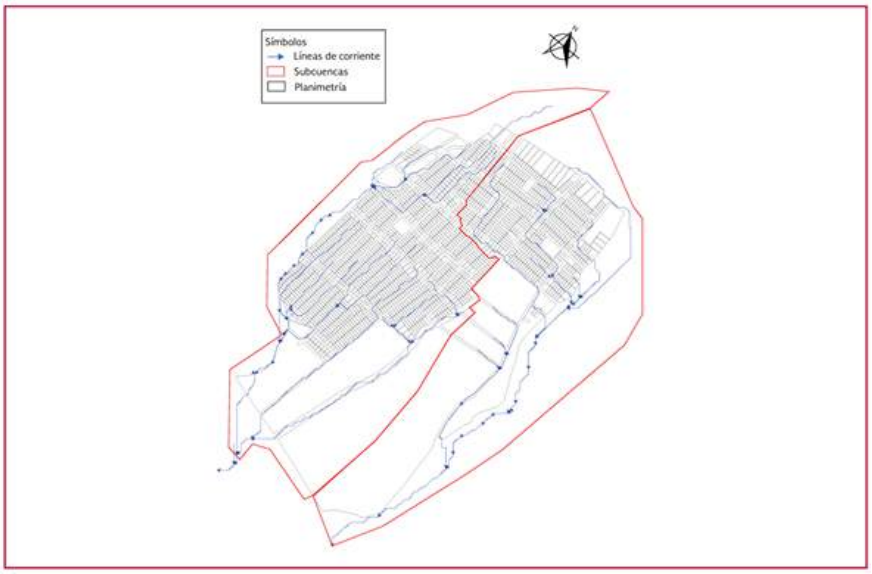
Trazo de la cuenca urbana, líneas de corriente y tiempo de concentración

Una cuenca urbana puede entenderse como el territorio delimitado topográficamente cuya escorrentía superficial converge hacia un punto de salida dentro de un entorno construido, donde la respuesta hidrológica está fuertemente condicionada por la ocupación del suelo y la infraestructura existente. A diferencia de una cuenca natural, en el ámbito urbano predominan superficies impermeables como cubiertas, pavimentos y vías, que modifican la infiltración, aceleran el escurrimiento y concentran los caudales en redes artificiales de captación y conducción. Por ello, para el diseño del drenaje pluvial no basta con definir el área y la pendiente; es imprescindible analizar la distribución de usos del suelo, los coeficientes de escorrentía asociados, la conectividad hidráulica entre subáreas, la capacidad y trazado de colectores, sumideros y estructuras de control, así como las condiciones de almacenamiento temporal en superficie o en sistemas de retención (Walsh et al., 2005).

En la Figura 105 se tiene un ejemplo de trazo de dos cuencas urbanas con las líneas de corriente (CONAGUA, 2019e).

Figura 105

Cuencas urbanas con las líneas de corriente



Existen varias plataformas en donde se puede descargar modelos de elevación (MDE) para generar las cuencas urbanas y los parámetros morfométricos con el apoyo de un Sistema de Información Geográfica (SIG) de licencia libre como el QGIS. En los siguientes manuales se tiene explicado a detalle cómo generar esa información:

1. Manual de QGIS aplicado a Ingeniería y Calidad del Agua.



2. MANUAL de HEC HMS, HEC RAS para inundaciones con la utilización de QGIS.

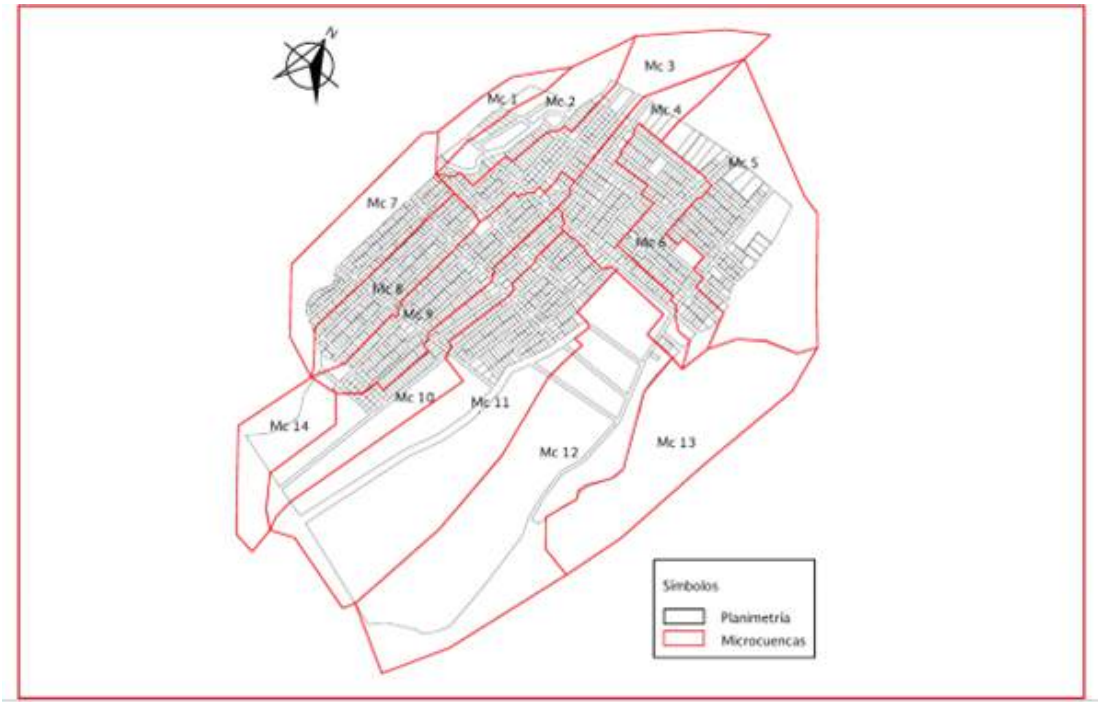


Las líneas de corriente representan las trayectorias hidráulicamente más probables que siguen el escurrimiento superficial desde los puntos más alejados de la cuenca hasta el sistema colector o el punto de descarga. Estas trayectorias permiten identificar el recorrido crítico que controla el tiempo de concentración. Una vez establecidas las líneas de corriente dentro del área urbana, es posible delimitar con precisión las microcuencas que estructuran la respuesta hidrológica del sector analizado. Cada microcuenca se define aislando el aporte superficial asociado a una trayectoria principal de escurrimiento hasta el punto donde esta converge con otra corriente, determinando así su superficie de contribución.

En entornos urbanos, dicha delimitación no depende únicamente de la topografía natural, sino que está fuertemente condicionada por la geometría de calles, bordillos, alineamientos prediales y redes de captación, los cuales actúan como divisorias hidráulicas artificiales. En la Figura 106 se presentan las líneas de corriente con las zonas que las conformaron (CONAGUA, 2019e).

Figura 106

Microcuencas de la zona de estudio de acuerdo a las líneas de corriente



El tiempo de concentración mínimo en cuencas urbanas no debe ser menor a 10 minutos (CONAGUA, 2019e).

Existen varios métodos para calcular el tiempo de concentración en cuencas hidrográficas. El Dr. Washington Sandoval hace una revisión de los diferentes métodos existentes y propone uno aplicado al Ecuador (W. Sandoval-Erazo et al., 2018). En la Tabla 46 se presentan algunos métodos para calcular el tiempo de concentración, en el Ecuador, el más utilizado es el de Kirpich.

Tabla 46

Métodos para calcular el tiempo de concentración

Método	Parámetros
Método de Clark $Tc = \left(\frac{A}{S^{0.5}}\right)^{0.593}$	A: Área de la cuenca en km. S: Pendiente del cauce en m/m
Método de Kirpich $Tc = 0.000325\left(\frac{L}{S}\right)^{0.77}$	L: Longitud del cauce principal en metros S: Pendiente del cauce en m/m
Método de Temez $Tc = 0.3\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$	L: Longitud del cauce principal en km. S: Pendiente del cauce en m/m
Método de Bransby y Williams $Tc = 0.2433 * L * A^{-0.1} * S^{-0.2}$	A: Área de la cuenca en km. L: Longitud del Cauce principal en km. S: Pendiente del cauce en m/m

Usos del suelo para calcular el coeficiente de escurrimiento

El uso del suelo es un factor determinante en la estimación de caudales pluviales, porque condiciona directamente la proporción de infiltración, almacenamiento superficial y escorrentía efectiva dentro de una cuenca urbana. Superficies altamente impermeables, como cubiertas y pavimentos, incrementan el coeficiente de escorrentía, reducen el tiempo de respuesta hidrológica y favorecen mayores caudales pico, mientras que áreas con cobertura vegetal o suelos permeables atenúan el flujo mediante infiltración y retención temporal. Por ello, en el dimensionamiento de colectores pluviales resulta indispensable diferenciar tipologías de ocupación (residencial, comercial, industrial, áreas verdes) y asignar parámetros hidráulicos coherentes con cada categoría, ya que pequeñas variaciones en la proporción de impermeabilización pueden modificar significativamente la magnitud y sincronización del caudal máximo (Du et al., 2015).

El coeficiente de escurrimiento depende del tipo de suelo, la impermeabilidad, la topografía y el desarrollo urbanístico. La escorrentía es un proceso físico que consiste en el escurrimiento del agua lluvia por la red de drenaje con el fin de alcanzar el cuerpo receptor y para calcularla se define como la relación del agua lluvia que cae en una zona determinada y el agua que discurre, o en otras palabras, como la diferencia entre el agua caída y el agua filtrada (CONAGUA, 2019d). En la Tabla 47 se presentan los coeficientes de escurrimiento propuestos por (EPMAPS, 2025).

Tabla 47

Coeficientes de escurrimiento para zonas rurales

Coeficientes de escorrentía rural				
Vegetación y topografía		Textura del suelo		
		Limo arenoso abierto	Arcilla y limo	Arcilla abierta
Bosque	Plano pendientes de 0-5%	0.10	0.30	0.40
	Ondulada, pendientes de 5-10%	0.25	0.35	0.50
	Montaña, pendientes de 10-30%	0.30	0.50	0.60
Pastura	Plano	0.10	0.30	0.40
	Ondulada	0.16	0.36	0.55
	Montañosa	0.22	0.42	0.60
Cultivos	Plano	0.30	0.50	0.60
	Ondulada	0.40	0.60	0.70
	Montañosa	0.52	0.72	0.82

Como existe variedad en el tipo de suelo en una cuenca urbana, es necesario calcular el coeficiente de escurrimiento ponderado, de acuerdo con la expresión (CONAGUA, 2019d), ecuación 30.

$$\overline{C_e} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_{is} \times C_{ei}}{A_{TMC}} \qquad (30)$$

Donde:

$\overline{C_e}$ =Coeficiente de escurrimiento promedio ponderado (adimensional)

A_{is} = área por tipo de suelo en m2

C_{ei} = coeficiente de escurrimiento por tipo de uso de suelo (adimensional)

A TMC = área total de la microcuenca en m2

is = tipo de suelo

n= número de tipos de suelo en la cuenca

En la Tabla 48 se presentan los coeficientes de escurrimientos propuestos por (CONAGUA, 2019d).

Tabla 48

Valores de coeficiente de escurrimiento para periodos de retorno

Característica de la superficie	Periodo de retorno en años						
	2	5	10	25	50	100	500
Urbanizada							
Superficie asfáltica	0.73	0.77	0.88	0.86	0.90	0.95	1.0
Concreto y / o azoteas	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.0
Áreas con pasto (el pasto cubre menos del 50% del área)							
Plano (0 al 2%)	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio (2 al 7%)	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Con pendiente (> 7%)	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Áreas con pasto (el pasto cubre del 50 al 75%)							
Plano (0 al 2%)	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio (2 al 7%)	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Con pendiente (> 7%)	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Áreas con pasto (el pasto cubre más del 75%)							
Plano (0 al 2%)	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio (2 al 7%)	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Con pendiente (> 7%)	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58

Intensidad (I)

La intensidad de lluvia constituye el parámetro hidrológico central en la aplicación del método racional para estimar el caudal máximo de escorrentía en cuencas pequeñas y medianas. Este enfoque asume que el gasto pico se produce cuando la duración de la precipitación es igual o superior al tiempo de concentración de la cuenca, de modo que toda el área contribuye simultáneamente al escurrimiento. Por ello, la intensidad debe seleccionarse a partir de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) correspondientes al período de retorno adoptado en el diseño hidráulico, garantizando coherencia entre el nivel de riesgo aceptado y la capacidad de la infraestructura proyectada; su adecuada determinación condiciona directamente la confiabilidad del caudal estimado y, en consecuencia, el dimensionamiento de sistemas de drenaje pluvial y alcantarillado urbano (Chow et al., 1988).

En el Ecuador, se tiene el libro: Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación, publicado en el año 2015 y una revisión en el año 2019. Aquí se presentan ecuaciones IDF obtenidas a partir de los análisis de precipitación registrada en estaciones meteorológicas, permitiendo estimar intensidades máximas, para diferentes duraciones y periodos de retorno. En la Figura 107 se presenta la portada del libro (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2015).

Figura 107

Libro del INAMHI con ecuaciones para calcular la intensidad en Ecuador

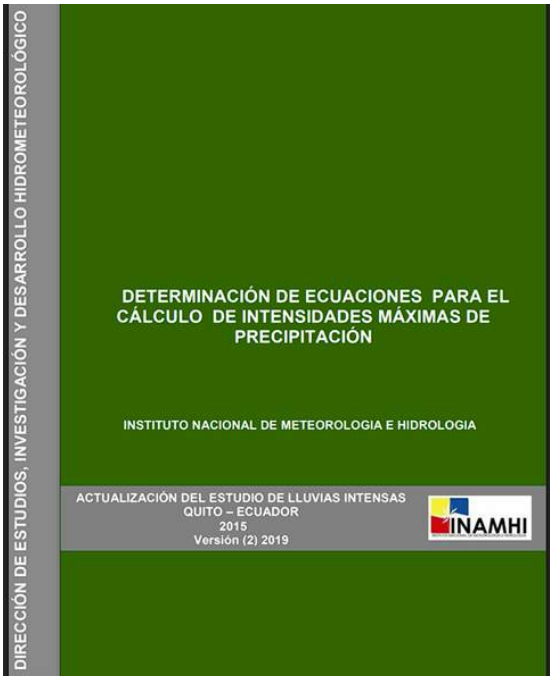
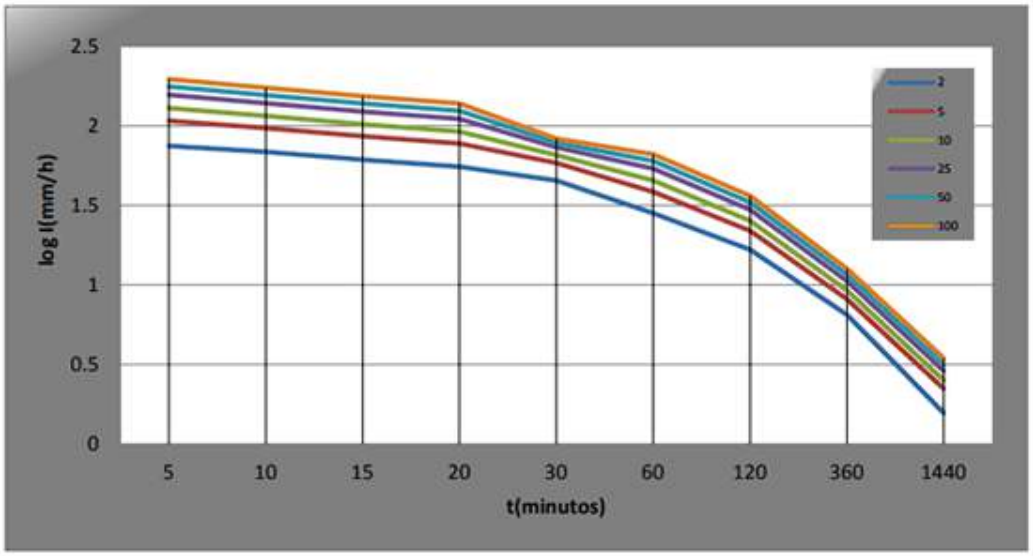


Figura 108

Intensidad, duración, frecuencia de la estación M0002, La Tola

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R^2
CÓDIGO	NOMBRE				
M0002	LA TOLA	5 <20	$i = 106.539 * T^{0.2310} * t^{-0.2386}$	0.9836	0.9675
		20 <120	$i = 433.713 * T^{0.1955} * t^{-0.6909}$	0.9891	0.9783
		120 <1440	$i = 1433.657 * T^{0.1832} * t^{-0.9382}$	0.9987	0.9974



t(min)	Periodo de Retorno T(años) 2	5	10	25	50	100
5	85.2	105.2	123.5	152.6	179.1	210.2
10	72.2	89.2	104.7	129.4	151.8	178.2
15	65.5	81.0	95.0	117.4	137.8	161.8
20	62.7	75.0	85.9	102.7	117.6	134.7
30	47.4	56.7	64.9	77.6	88.9	101.8
60	29.3	35.1	40.2	48.1	55.1	63.0
120	18.2	21.6	24.5	29.0	32.9	37.3
360	6.5	7.7	8.7	10.3	11.7	13.3
1440	1.8	2.1	2.4	2.8	3.2	3.6

INTENSIDAD MAXIMA (mm/h)

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) en el Ecuador, tienen sus propias estaciones meteorológicas, así mismo, ecuaciones IDF. Para el diseño de obras de drenaje pluvial en el Distrito Metropolitano de Quito se utilizan las relaciones intensidad-duración-frecuencia obtenidas en el proyecto SISHILAD desarrollado por la EMAAP-Q, cuyas ecuaciones son aplicables para periodos de retorno entre 2 y 50 años y duraciones de tormenta comprendidas entre 5 y 360 minutos. En la Tabla 49 se presentan las ecuaciones IDF del Distrito Metropolitano de Quito (Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q), 2002).

Tabla 49

Ecuaciones utilizadas en el Distrito Metropolitano de Quito

Estación	Latitud Sud	Longitud Oeste	Altitud msnm	Ecuaciones
Izobamba	0 21´45¨	78 33´11¨	3058	$I = \frac{(74.7140 \times T^{0.0888}) \times [ln(t+3)]^{3.8202} \times (lnT)}{t^{1.8079}}$
Quito-Observatorio	0 12´40¨	78 30´00¨	2820	$I = \frac{(48.6570 \times T^{0.0898}) \times [ln(t+3)]^{5.2340} \times (lnT)}{t^{1.9654}}$
Iñaquito-INHAMI	0 10´00¨	78 29´00¨	2789	$I = \frac{(76.8002 \times T^{0.818}) \times [ln(t+3)]^{3.7343} \times (lnT)^{0}}{t^{1.5847}}$
DAC-Aeropuerto	0 08´24¨	78 29´06¨	2794	$I = \frac{(55.6656 \times T^{0.0922}) \times [ln(t+3)]^{4.1647} \times (lnT)}{t^{1.6587}}$
La Chorrera	0 12´06¨	78 32´06¨	3165	$I = \frac{(44.2595 \times T^{0.0973}) \times [ln(t+3)]^{4.4013} \times (lnT)}{t^{1.6591}}$
La Tola	0 13´46¨	78 22´00¨	2480	$I = \frac{(39.9 \times T^{0.09}) \times [ln(t+3)]^{5.36} \times (lnT)^{0.11}}{t^{1.93}}$

En el GADMUR, Rumiñahui, con su cabecera cantonal Sangolquí, presenta la ecuación IDF 31.

$$I = \frac{212 \times T^{0.123}}{t^{0.47}} \qquad (31)$$

Donde:

I = Intensidad mm/hora

T = periodo de retorno en años

T= duración de la lluvia en minutos

El GADMUR incluso presenta valores para el diseño del drenaje pluvial:

Coeficiente de escurrimiento:

C = 0.50 min. o de acuerdo al tipo de superficie

Tiempo de concentración inicial: t = 12 min.

Tubería de hormigón centrifugado

Velocidad máxima diseño t.h: 6.0 m/s

Velocidad mínima tubo lleno: 0.90 m/s

Velocidad mínima autolimpieza: 0.35 m/s

Pendiente mínima: 1.0 %

Periodo de retorno y duración de la lluvia para la obtención de los caudales de diseño del drenaje pluvial

En el dimensionamiento de sistemas de drenaje pluvial, la estimación de los caudales de diseño se fundamenta en la caracterización estadística de los eventos de precipitación. Dos parámetros clave para este análisis son el periodo de retorno y la duración de la lluvia, los cuales permiten representar la probabilidad de ocurrencia y la escala temporal de las tormentas que pueden generar escorrentía significativa en una cuenca urbana. El periodo de retorno expresa el intervalo promedio en años en que se espera que un evento de cierta magnitud sea igualado o superado, mientras que la duración de la precipitación está relacionada con el tiempo característico de respuesta hidrológica de la cuenca. La combinación de ambos parámetros se utiliza para derivar intensidades de lluvia a partir de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), que posteriormente permiten estimar los caudales de escorrentía mediante métodos hidrológicos como el método racional, ampliamente empleado en el diseño de redes de drenaje urbano (Chow et al., 1988).

Los códigos de diseño coinciden en que la intensidad de lluvia utilizada en el método racional debe corresponder a una duración equivalente al tiempo de concentración de la cuenca, ya que ese es el momento en el que toda el área contribuye simultáneamente al escurrimiento. El periodo de retorno se

selecciona en función del nivel de riesgo aceptable y de la importancia de la infraestructura hidráulica, variando típicamente entre 2 y 50 años en sistemas urbanos de drenaje pluvial, aunque en estudios hidrológicos o infraestructuras críticas puede extenderse hasta 100 años o más (Tabla 50).

Tabla 50

Periodo de retorno y duración de la lluvia por tipo de infraestructura

Tipo de infraestructura de drenaje	Periodo de retorno típico (años)	Duración de lluvia considerada	País / Norma o referencia	Fuente bibliográfica
Sumideros, cunetas y drenaje superficial urbano menor	2 – 5	Duración cercana al tiempo de concentración de la microcuenca (generalmente 5–20 min)	Colombia RAS 2017	(Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009, 2017)
Colectores pluviales secundarios	5 – 10	Igual al tiempo de concentración de la cuenca urbana	Colombia RAS 2017	
Colectores principales y drenaje urbano mayor	10 – 25	Duración equivalente al tiempo de concentración de la cuenca contributiva	Colombia RAS 2017	
Redes de alcantarillado pluvial urbano	2 – 25	Duración entre 5 y 360 min según curvas IDF locales	Ecuador Normas de diseño EMAAP-Q	(Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q), 2002)
Diseño hidrológico urbano en cuencas pequeñas (método racional)	2 – 50	Intensidad correspondiente a la duración igual al tiempo de concentración	Ecuador Estudios hidrológicos INAMHI	(Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2015)
Sistemas de drenaje urbano convencional (storm sewers)	2 – 10 para redes menores; hasta 50 para infraestructura mayor	Duración crítica igual al tiempo de concentración de la cuenca	ASCE	(Water Environment Federation American Society of Civil Engineers, 1992)
Infraestructura urbana crítica (túneles, drenaje mayor, obras de control de inundaciones)	25 – 100	Duración crítica asociada al tiempo de concentración de la cuenca o tormenta de diseño	Literatura hidrológica	(Chow et al., 1988)

Diseño integrado de drenaje urbano	2 – 30 dependiendo del nivel de protección del sistema	Intensidad obtenida de curvas IDF para la duración crítica	Internacional – IWA	(Butler David et al., 2018)

Cálculo del caudal de diseño de drenaje pluvial con el método racional

En la ecuación 32 se presenta la expresión para calcular el caudal pluvial con el método racional (CONAGUA, 2019d).

$$Q_p = 0.278 \times C_e \times I \times A_T \qquad (32)$$

Donde:

Q_P = caudal pico en m^3/s

C_e = coeficiente de escurrimiento (adimensional)

I = Intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca urbana en mm/h

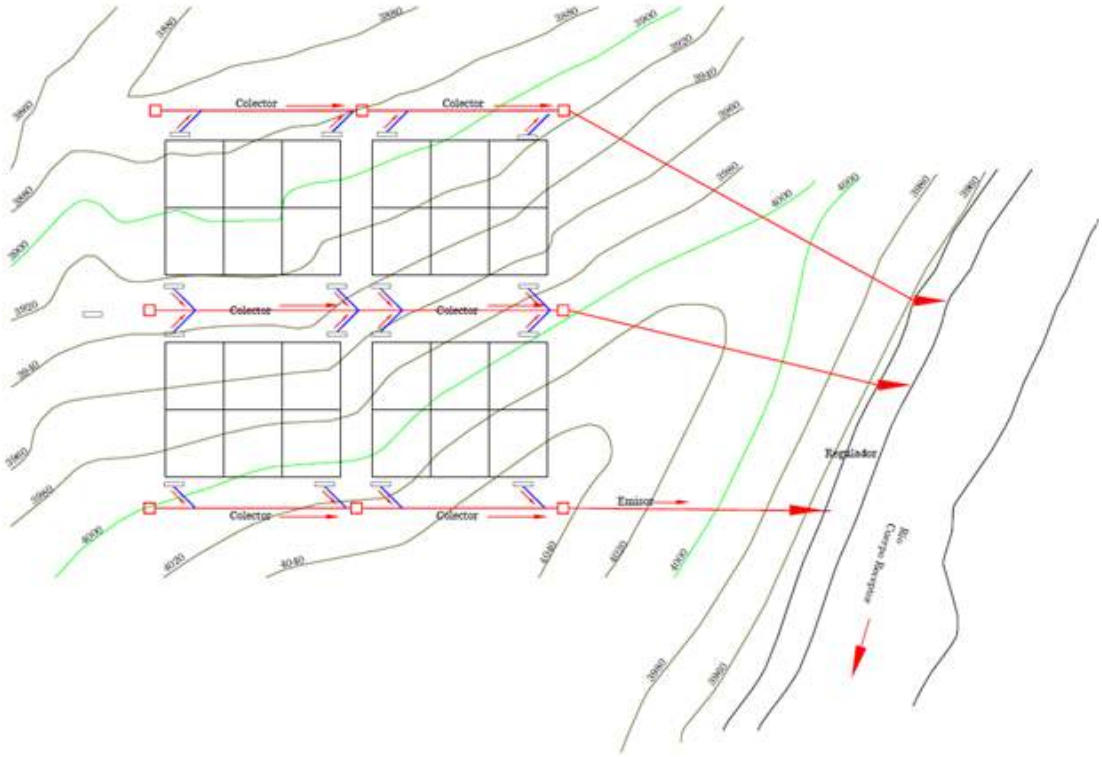
A_T = Área de la cuenca en km^2 o el área aportante de cada colector obtenido de las líneas de corriente

6.5. Ejercicio de aplicación para obtener los caudales de diseño del drenaje pluvial con el método racional

Calcular el drenaje pluvial que necesita la población futura de la provincia de Manabí de 5000 habitantes.

Resolución:

Después de las consideraciones explicadas en la siguiente figura se tiene la conceptualización de las líneas de flujo para drenar el agua pluvial.



El área de la población es de 71.43 km^2, considerando un coeficiente de escurrimiento de 0.5 y la intensidad para un periodo de retorno de 15 años y una duración de la lluvia de 12 minutos, de 150 mm/h.

El caudal pico total es:

$$Q_p = 0.278 \times 0.5 \times 150 \times 71.43$$

$$Q_P = 1489.32\ m^3/s$$

Este caudal se tiene que distribuir en cada colector en función de su área de aporte de la microcuenca.

6.6. Cálculo del caudal de diseño de drenaje pluvial con poca información para cuencas grandes

En cuencas de gran extensión, la estimación de los caudales de drenaje pluvial requiere metodologías hidrológicas más robustas que el método racional, ya que este último se fundamenta en la hipótesis de una intensidad de lluvia constante y en tiempos de concentración relativamente cortos, condiciones que rara vez se cumplen en áreas de drenaje extensas. En estos casos, resulta más

apropiado emplear enfoques basados en la transformación lluvia-escorrentía, tales como el método del hidrograma unitario, modelos de almacenamiento o modelos hidrológicos distribuidos y semidistribuidos, los cuales permiten representar con mayor realismo la variabilidad temporal y espacial de la precipitación, así como los procesos de infiltración, retención y propagación del escurrimiento en la cuenca. Estos métodos posibilitan obtener hidrogramas de crecida y estimar caudales pico de diseño que reflejan de mejor manera el comportamiento hidrológico de cuencas urbanas o naturales de gran tamaño, constituyendo una base técnica más confiable para el dimensionamiento de infraestructuras de drenaje pluvial y control de inundaciones (Chow et al., 1988).

En muchos países andinos, y particularmente en Ecuador, la planificación y diseño de obras hidráulicas enfrenta una limitación recurrente: la escasez de series hidrométricas confiables. El estudio desarrollado por Sandoval y Aguilera propone un enfoque metodológico que permite estimar caudales característicos en cuencas donde los registros hidrológicos son inexistentes o insuficientes. La propuesta se basa en el análisis de parámetros físicos de la cuenca como área de drenaje, precipitación media y características morfométricas, combinados con relaciones empíricas derivadas de cuencas similares del territorio ecuatoriano. A partir de esta información se establecen expresiones que permiten aproximar caudales medios, mínimos y máximos mediante el uso del módulo específico de escorrentía y relaciones regionalizadas. Los autores demuestran que este tipo de procedimientos constituye una herramienta útil para el dimensionamiento preliminar de obras hidráulicas, especialmente en zonas donde la red de estaciones hidrométricas es limitada, permitiendo reducir la incertidumbre en la estimación de caudales de diseño (Sandoval Erazo & Aguilera Ortiz, 2014).

Otra metodología para determinar caudales para cuencas grandes es el que se puede realizar con el software libre HEC-HMS. El hidrograma unitario de Clark constituye una herramienta hidrológica ampliamente utilizada para transformar la precipitación efectiva en caudal de escorrentía mediante la representación conjunta de los procesos de traslación del flujo en la cuenca y del almacenamiento temporal del agua. El manual aplicado al uso del software HEC-HMS describe de manera práctica la parametrización de este método, destacando la estimación del tiempo de concentración y del coeficiente de almacenamiento, parámetros que controlan el retardo y la atenuación del hidrograma resultante. A través de un caso de estudio desarrollado en una cuenca

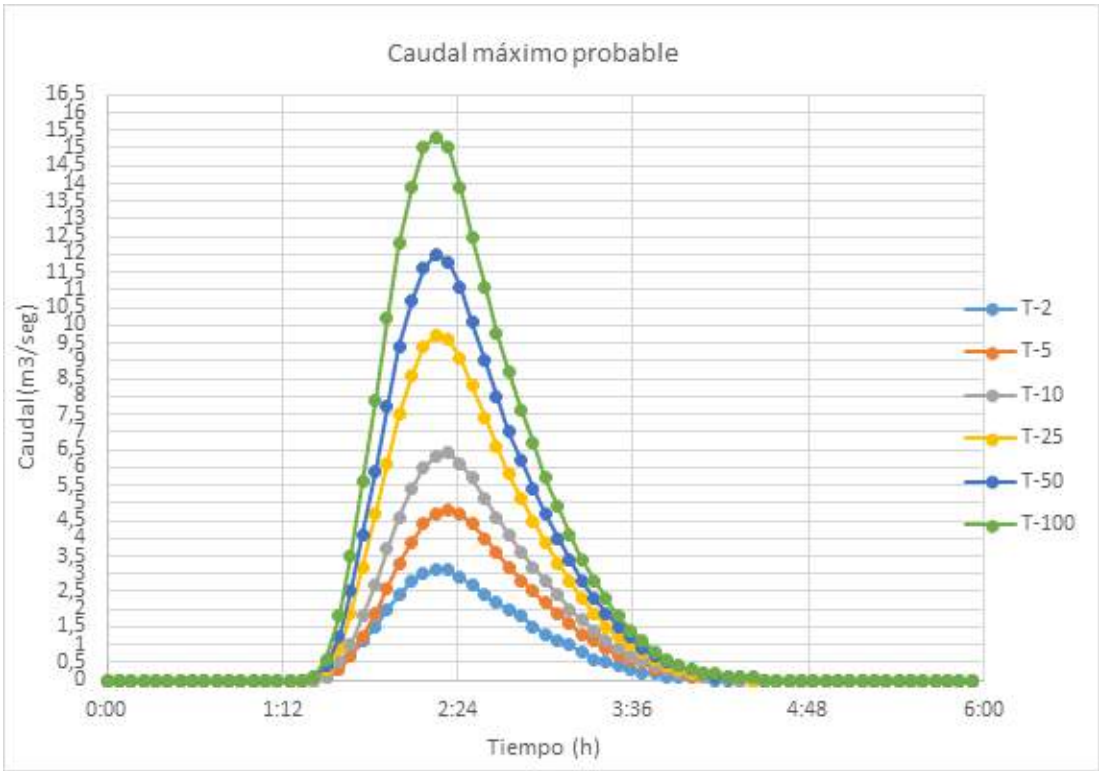
ubicada en el volcán Ilaló, Ecuador, se ilustra el procedimiento para estructurar el modelo hidrológico, incorporar la información de precipitación y ejecutar simulaciones de eventos de lluvia, lo que permite estimar hidrogramas de escorrentía y evaluar la respuesta hidrológica de la cuenca ante diferentes condiciones de precipitación.

El código DOI del manual es (10.13140/RG.2.2.30957.29920). La Figura 109 es el resultado de la modelación con el software HEC-HMS. El diseñador tendrá que decidir la mejor que curva que cumpla la parte técnica, económica y ambiental.



Figura 109

Caudales máximos asociados al periodo de retorno con el método del hidrograma unitario de Clark obtenido con el software HEC-HMS



6.7. Criterios básicos para el diseño del drenaje pluvial

En el diseño hidráulico de redes de drenaje pluvial urbano es habitual adoptar criterios técnicos que garanticen simultáneamente la eficiencia hidráulica, la estabilidad estructural de las conducciones y la facilidad de operación y mantenimiento del sistema. Para ello, los manuales de ingeniería hidráulica y las normativas de distintos países establecen rangos recomendados para parámetros como diámetros mínimos de colectores, velocidades admisibles de flujo, pendientes de instalación, niveles de llenado de las tuberías y profundidades de instalación de pozos y conducciones. Aunque estos criterios pueden presentar ligeras variaciones según el contexto normativo y las condiciones locales, existe una convergencia significativa entre las recomendaciones internacionales, como las publicadas por la American Society of Civil Engineers (ASCE) y la International Water Association (IWA) y las normativas latinoamericanas aplicadas en el diseño de sistemas de alcantarillado, entre ellas el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico de Colombia (RAS) y las guías técnicas utilizadas en México por CONAGUA. En el caso ecuatoriano, diversas normas y manuales técnicos empleados por empresas operadoras de agua potable y saneamiento incorporan criterios de diseño similares, adaptados a las condiciones topográficas, hidráulicas y operativas de las ciudades del país (Tabla 51).

Tabla 51

Parámetros de diseño para el drenaje sanitario

Parámetro de diseño	Valores típicos utilizados en Ecuador	Referencias internacionales	Normativas de referencia
Diámetro mínimo de colector pluvial	300 mm	300 mm recomendado para colectores secundarios	(Butler David et al., 2018; Chow et al., 1988; CONAGUA, 2019d; Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y
Velocidad mínima de autolimpieza	0.6 – 0.9 m/s	Valores similares para evitar sedimentación	
Velocidad máxima admisible	5 – 6 m/s	Depende del material de la tubería y control de erosión	
Pendiente mínima de tubería	0.3 – 1.0 % (según diámetro)	Debe garantizar velocidad de autolimpieza	

Pendiente máxima	hasta 10 % (con control hidráulico)	Pendientes mayores requieren disipación de energía	Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009, 2017; Water Environment Federation American Society of Civil Engineers, 1992)
Relación de llenado de la tubería (y/D)	0.70 – 0.80	Se recomienda no diseñar a tubo lleno	
Profundidad mínima de tubería	1.0 – 1.2 m	Protección estructural frente a cargas de tránsito	
Separación entre pozos de revisión	80 – 120 m	Depende del diámetro y alineamiento	
Profundidad mínima de pozos	1.2 m	Permite operación y mantenimiento seguros	

6.8. Ejemplo práctico del modelo hidráulico en flujo permanente y no permanente que se realizó en la infraestructura de aguas residuales en la ESPE con Sewercad, en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Existen varios softwares para realizar el diseño, incluso se puede emplear una hoja electrónica con la siguiente información.

DENSIDAD	DOT.	Coef C	Manning	T (años)	% Retorno
0.004	341.33	0	0.011	20	70%

ALCANTARILLADO SANITARIO PARA EL BARRIO SAN CARLOS I, PARROQUIA DE TONSUPA, ESMERALDAS

I. MUNICIPIO DE ATACAMES — CÁLCULOS HIDRÁULICOS DE COLECTORES

DESCRIPCIÓN DEL TRAMO			AGUAS SERVIDAS (l/s)					FACTOR	AGUAS LÍCITAS	AGUAS INFILTRACIÓN	CAUDAL SANITARIO	DISEÑO DE LA TUBERÍA						DESNIVEL TRAMO	PROF. POZO	COTAS				EXC.	RELL.
CALLE	POZO Nro	LONGITUD m	ÁREAS (das²)		POBLACIÓN (hab.)		AGUAS SERVIDAS					TUBERÍA	J	TUBERÍA LLENA		DATOS HIDRÁULICOS					TERRENO		TUBERÍA			
			PARCIAL	ACUMUL.	PARCIAL	ACUMUL.		M	Q lt	Q inf	Qs	D mm	o/oo	V m/s	Q l/s	Qd/Q	Vdiseño m/s	Vmin. m/s			ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	m²	m²
TUBERÍA EJE C/SEXTA ENTRE C/ CIRCUNVALACIÓN - C/ CENTRAL																										
	1																									
	2	100.00	3000.00	3000.00	12	12	0.033	4.00	0.01	0.08	0.22	200	250.0	6.17	194	0.001	1.77	1.77	25.00	2.00	100.00	75.00	98.00	73.00	200.00	196.86

El cálculo se va realizando como flujo lámina libre ingresando los diámetros hasta que cumpla los requerimientos.

El software más utilizado para el diseño de alcantarillados es el Sewercad, a continuación, se explica con un ejemplo su funcionamiento utilizado en el trabajo de (Narvaez-Terán & Vaca-Lescano, 2023).

1- Escenarios para la modelación en régimen permanente y no permanente en SewerCAD

- Caudal de diseño (Régimen permanente)

- Caudal máximo instantáneo (Régimen no permanente)
- Caudal mínimo

2. Previo a la modelación en SewerCAD

Para el ejemplo de aplicación que se va a desarrollar en SewerCAD se ubica la Red de Aguas Residuales N°1 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Matriz, la cual abastece al Policlínico y la Biblioteca, como se muestra en el siguiente mapa:



Para la modelación del primer escenario en SewerCAD se ocupa el caudal de diseño:

$$Q = Qas + Qinf + Qilc + Qi + Qc$$

En donde, para Qas,Qi y Qc se sigue el siguiente procedimiento:

$$Q_{med} = \frac{A_p * P}{86400}$$

Para A_p Aportación de aguas residuales por día (l/hab) y P el número de habitantes:

Edificio	Estudiantes	Administrativos/docentes es/trabajo	Dotación [l/día]
Bloque A-B	3262	691	266750
Bloque C-D	4316	262	255100
Laboratorio idiomas/suelos	487	66	34250
Laboratorio electrónica/biotecnología	640	81	44150
Laboratorio geográfica/mecánica	480	45	30750
Laboratorio mecánica	400	40	26000
Bar/Almacén/Serv. Univ./Salón 2000	450	72	33300
Coliseo/CAFDER	1315	63	75200
Biblioteca	688	17	36950
Policlínico	70	24	7100
Edificio administrativo	0	235	35250
Transportes/CICTE	0	70	10500
Garitas y bodegas	0	25	3750
Residencia/comedor	320	68	63700
Total	**12428**	**1759**	**922750**

$$Población = 688 + 17 + 70 + 24 = 799\ habitantes$$

$$Dotación\ parcial = 36950 + 7100 = 44050\ l/día$$

$$Dotación = \frac{44050}{799} = 55.13\ \frac{l}{hab}/día$$

$$Q_{med} = \frac{55.13\ \times 799}{86400}$$

$$Q_{med} = 0.51\ (\frac{l}{s})$$

Para el caudal de infiltración Q_{inf} se mide el área que abastece la red de aguas residuales, para este caso se mide en Google Earth y se obtiene el siguiente valor:



También se obtienen el perímetro y la longitud de la red.



Puesto que el área es menor a 40.5 ha para una tubería de hormigón simple perforada se tiene:

$$\text{Si } Areas\ de\ hasta\ 40.5\ ha\ \rightarrow Qinf = 48.5 \frac{m3}{ha}/día$$

Sin embargo, las Normas del EXIEOS sugieren que para este tipo de áreas de servicio se puede considerar el caudal de 0.8 l/seg/km, siendo un total de 209.88 m o 0.210 km de la red; el valor para el caudal de infiltración sería:

$$Qinf = 0.8 \frac{\frac{l}{seg}}{\text{km}} * 0.210\ \text{km} = 0.17\ l/s$$

Para el Caudal medio de aguas residuales domésticas en la red sanitaria que abastece la biblioteca y el policlínico, se calcula con el caudal medio diario, ocupando el caudal de aguas residuales domésticas.

$$Q_{as} = \frac{C \times P \times R}{86400}$$

Teniendo:

C= es la dotación previamente calculada (l/hab-dia)

P = es la población servida (hab)

R = es el coeficiente de retorno (depende de la complejidad del nivel del sistema)

En la siguiente tabla se presentan los coeficientes de retorno.

Tabla 52

Nivel de complejidad del sistema de análisis frente al coeficiente de retorno

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de retorno
Bajo y medio	0,7 - 0,8
Medio alto y alto *	0,8 - 0,85

Nota. Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009, 2017.

Como la red de alcantarillado sanitario de la UFA ESPE, es relativamente pequeña se considera como un sistema de complejidad baja tomando el valor de 0.7.

$$Qas = \frac{C \times P \times R}{86400}$$

$$Qas = \frac{41.35 \times 799 \times 0.7}{86400}$$

$$Qas = 0.31\ l/s$$

Y finalmente, para el caudal de conexiones erradas se toma el valor nulo puesto que el sistema es cerrado, controlado y únicamente abastece a la Universidad.

$$Q_{ilic} = 0 \frac{l}{hab - día}$$

Obteniendo el caudal de diseño:

$$Q = 0.31\ l/s + 0.17 l/s + 0 \frac{l}{hab - día} + 0 + 0$$

$$Q = 0.48\ l/s$$

4. Caudal máximo instantáneo (Régimen No Permanente)

Para la modelación del segundo escenario en SewerCAD

$$Q_{max.inst.} = M * Q_{med}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{799}}$$

$$M = 1.43$$

$$Q_{max.inst.} = 1.43 \times 0.51$$

$$Q_{max.inst.} = 0.7293\ l/s$$

5. Caudal mínimo

Para el caudal mínimo, se considera un 50% el caudal medio diario (CONAGUA, 2019g). Obteniendo de esa manera el siguiente valor:

$$Q_{min} = 0.5 Q_{med}$$

$$Q_{min} = 0.5 * 0.51\ l/s$$

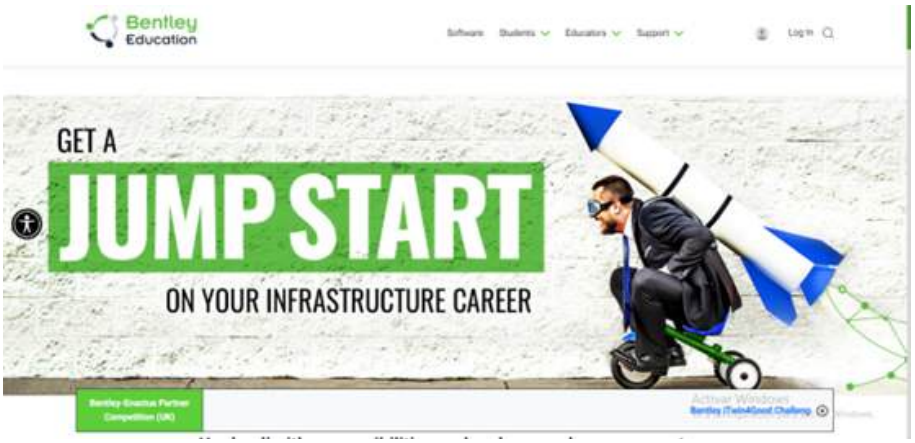
$$Q_{min} = 0.26\ l/s$$

6. Modelación en SewerCAD-Instalación

Para la descarga del software se ingresa en la página web:



Seleccionar Log in.



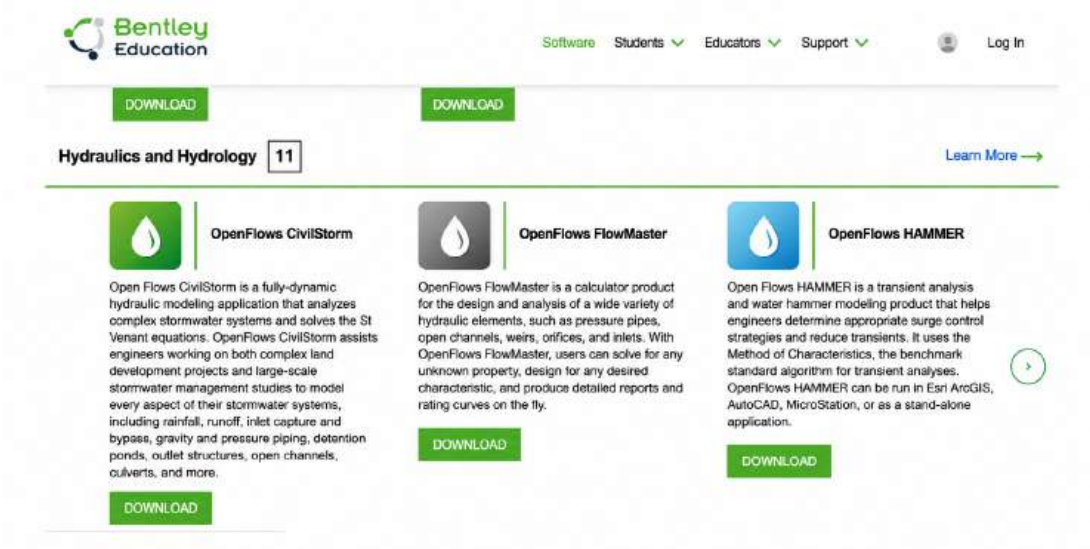
Si se tiene una cuenta registrada en Bentley, iniciar sesión, caso contrario crear una nueva cuenta.



Ingresar los datos correspondientes.



Seleccionar el apartado de software para descargar los paquetes y en el apartado de Hydraulics and Hydrology seleccionar Learn More.



Seleccionar el paquete que se desea descargar, en este caso el software SewerCAD.



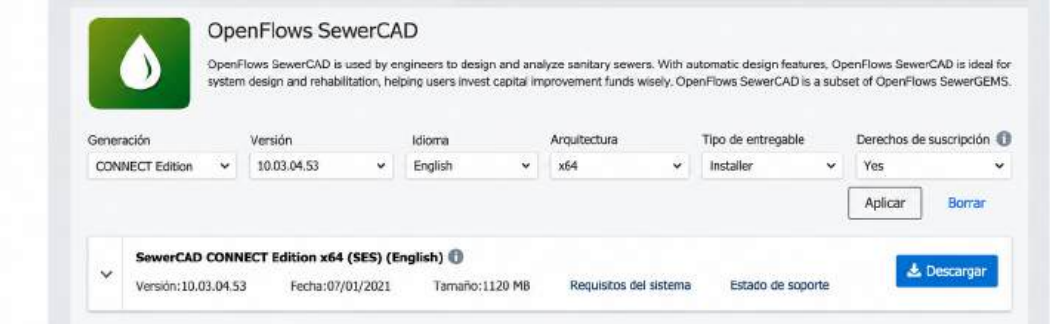
Para descargar los programas se debe registrar una evidencia académica en la página ya como la tarjeta de identificación universitaria.



Luego de cierto tiempo, aproximadamente un día o dos, verificar el correo para continuar con el proceso y rellenar los datos del perfil de la plataforma.

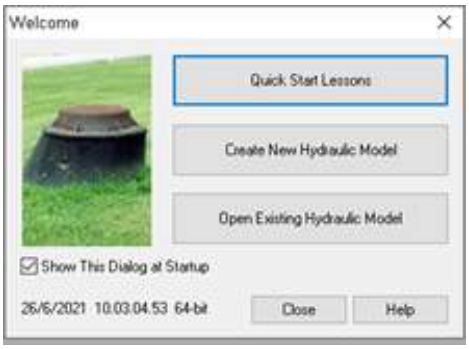
Establecer las características del software para proceder con la descarga.





7. Nuevo modelo SewerCAD

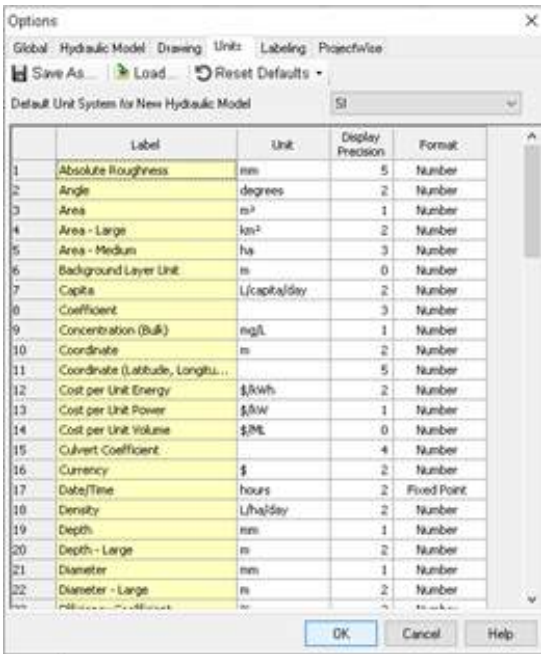
Luego de la correcta instalación, se debe Iniciar SewerCAD, y la primera ventana será la de bienvenida, en la cual se debe seleccionar la opción Create New Hydraulic Model.



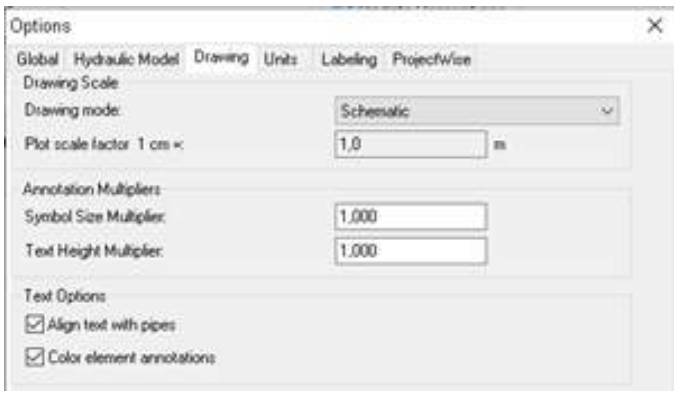
Para el cambio de unidades, seleccionar Tools > More > Options, dar click en Units. dar click en Reset Defaults y seleccionar SI.



Dar click en OK.



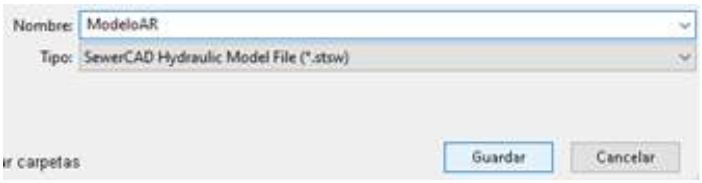
Dar click en la pestaña Drawing y verificar el factor de escala a trabajar el modelo. Aunque se debe elegir la opción esquemática



Click en OK.

Seleccionar File > Save As.

Ingresar el nombre del documento ModeloAR y dar click en Save.



8. Diseño de la red

Para la red de aguas residuales se debe conocer cada ítem ubicado en la pestaña Layout.



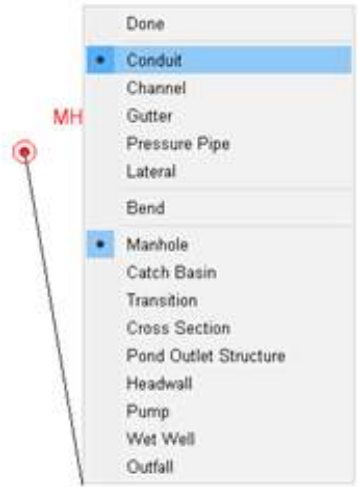
Seleccione Conduit, para dibujar las tuberías de la red

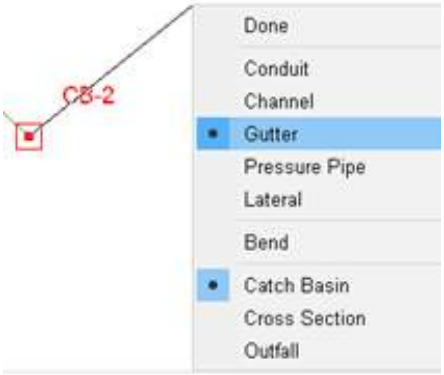


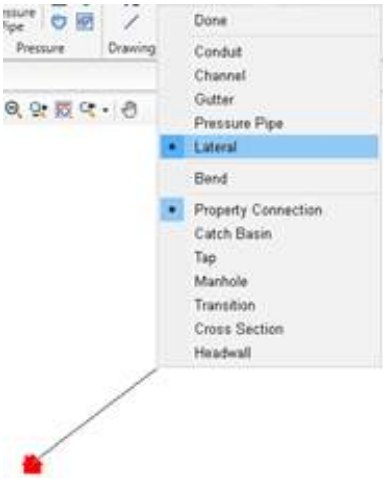
Luego de crear la primera tubería el programa, inserta por defecto el primero nodo denominado Manhole.

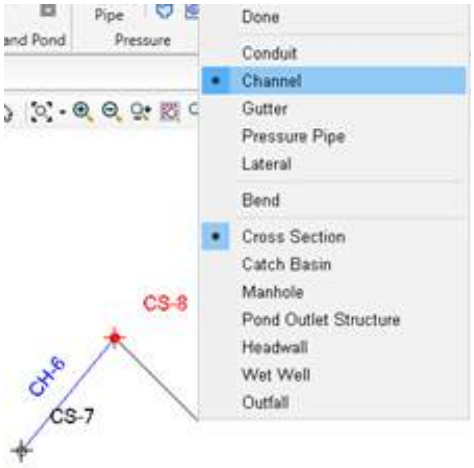
Existen diferentes herramientas que se pueden catalogar para el siguiente punto o tubería, siendo Conduit para conductos, Channel para canales que di-

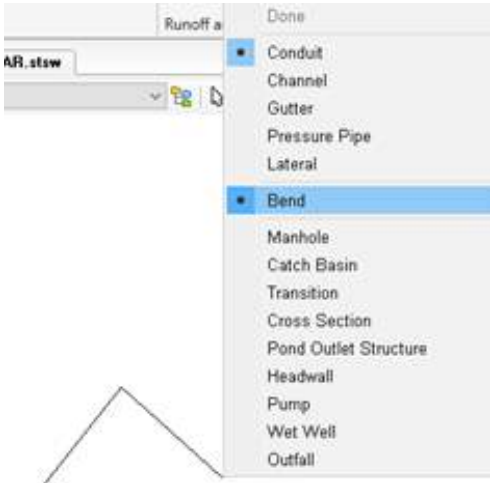
rigen el flujo a lugar en específico, Gutter para fluir o dirigir el fluido, Pressure Pipe para las tuberías que trabajan a presión, Lateral para conductos hidráulicos que corren en paralelo al sistema, Bend para definir ángulos específicos y controlar la presión hidráulica. Como se indica a continuación.

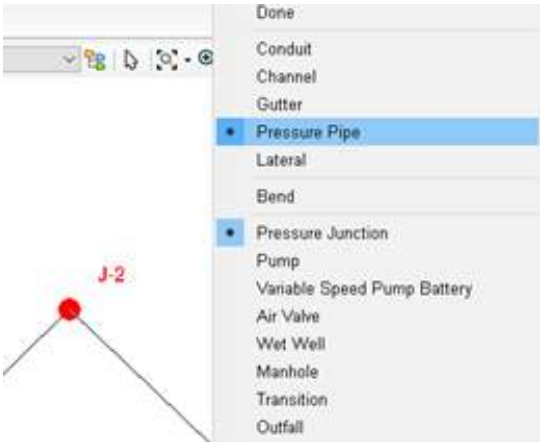






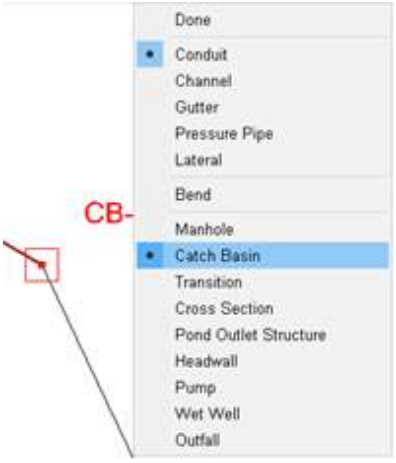


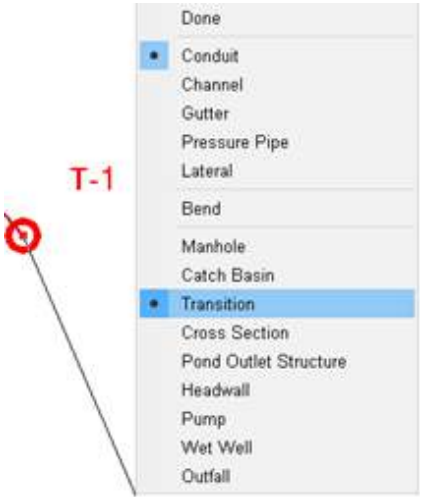


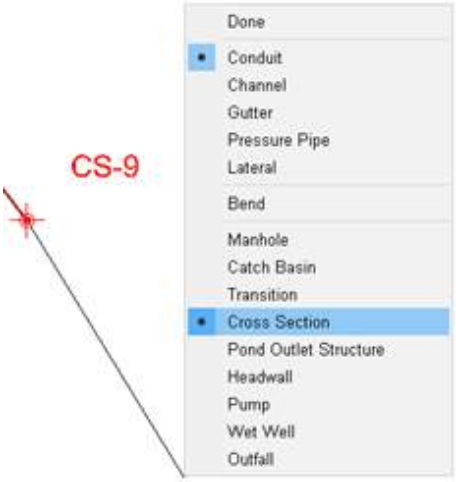


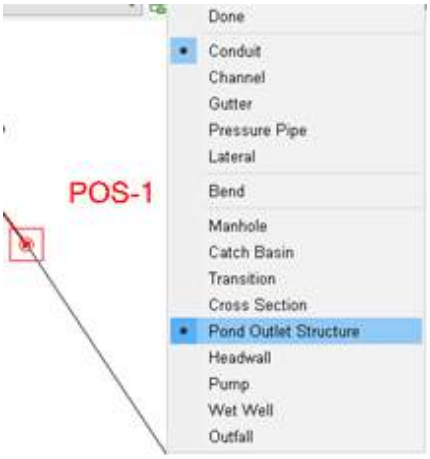
Para nodos debe ocupara la opción de Manhole que es la alcantarilla, oobteniendo diferentes herramientas como: Catch Basin que es la cuenca de captura, Transition se ocupa para las transiciones de una tubería a otra, Cross Section para obtener la sección transversal, Pond Outlet Structure se ocupa cuando se desea diseñar la salida de un estanque , Headwall es una pared, hecha de una variedad de materiales, Pump para colocar bombas si se requiere, Wet Well para un pozo húmedo y Outfall que es el último elemento en la red denominado desagüe. Como se muestra a continuación.



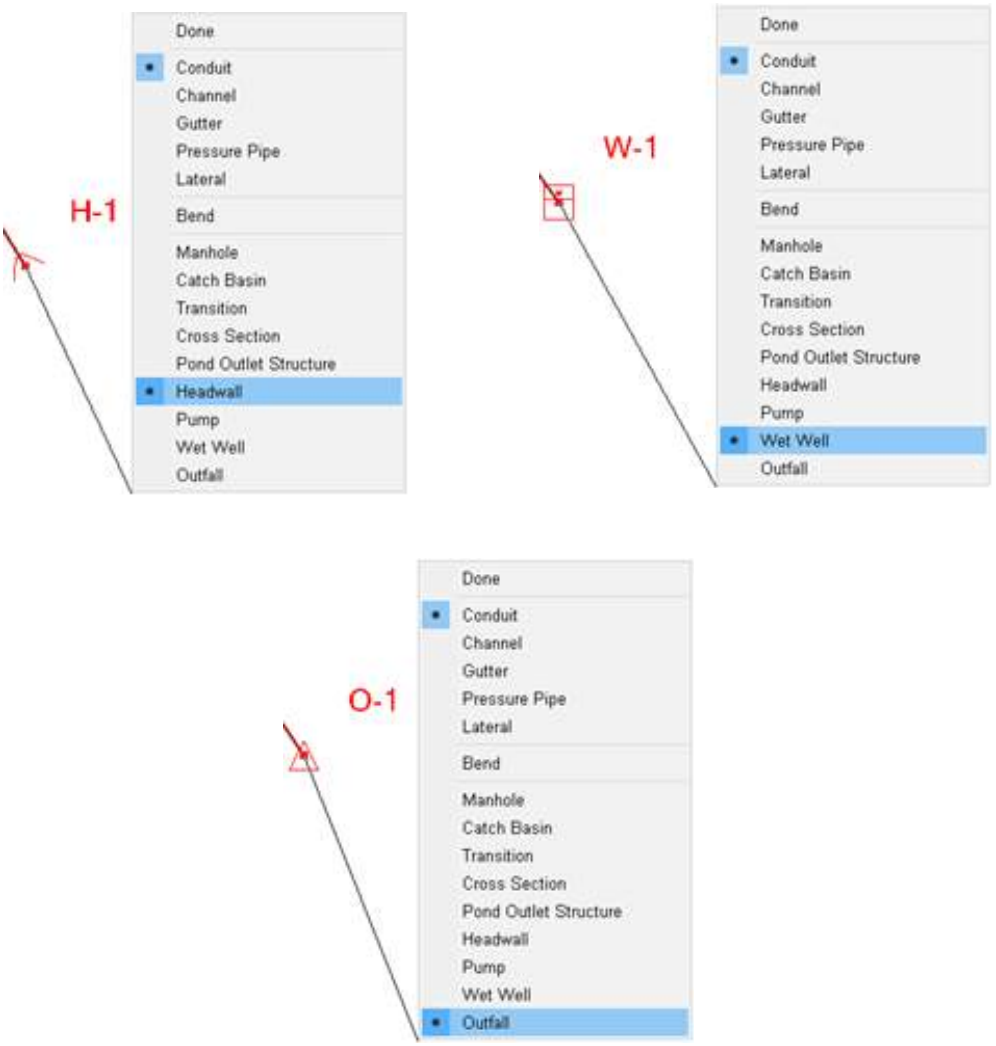




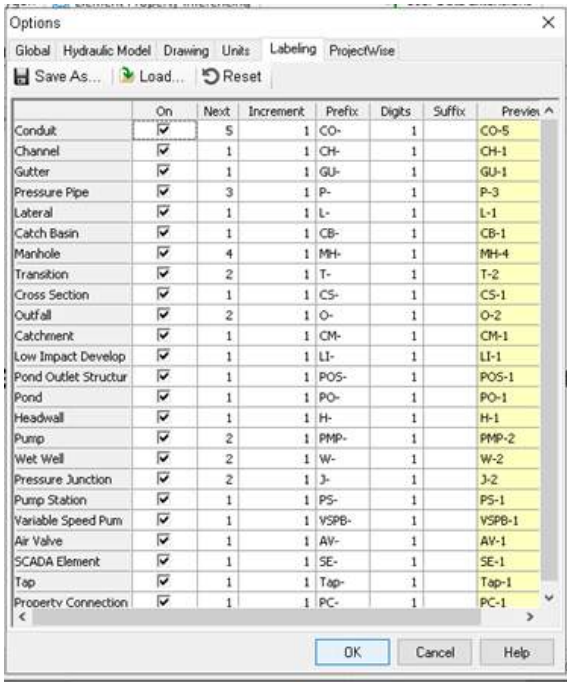






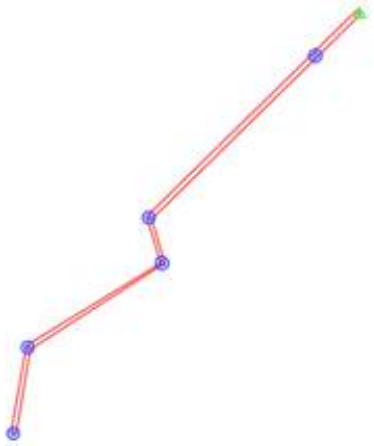


La tabla de etiquetas se encuentra en la pestaña Tools> Labeling. Si se encuentra de acuerdo dar clic en OK.



	On	Next	Increment	Prefix	Digits	Suffix	Previe
Conduit	☑	5	1	CO-	1		CO-5
Channel	☑	1	1	CH-	1		CH-1
Gutter	☑	1	1	GU-	1		GU-1
Pressure Pipe	☑	3	1	P-	1		P-3
Lateral	☑	1	1	L-	1		L-1
Catch Basin	☑	1	1	CB-	1		CB-1
Manhole	☑	4	1	MH-	1		MH-4
Transition	☑	2	1	T-	1		T-2
Cross Section	☑	1	1	CS-	1		CS-1
Outfall	☑	2	1	O-	1		O-2
Catchment	☑	1	1	CM-	1		CM-1
Low Impact Develop	☑	1	1	LI-	1		LI-1
Pond Outlet Structur	☑	1	1	POS-	1		POS-1
Pond	☑	1	1	PO-	1		PO-1
Headwall	☑	1	1	H-	1		H-1
Pump	☑	2	1	PMP-	1		PMP-2
Wet Well	☑	2	1	W-	1		W-2
Pressure Junction	☑	2	1	J-	1		J-2
Pump Station	☑	1	1	PS-	1		PS-1
Variable Speed Pum	☑	1	1	VSPB-	1		VSPB-1
Air Valve	☑	1	1	AV-	1		AV-1
SCADA Element	☑	1	1	SE-	1		SE-1
Tap	☑	1	1	Tap-	1		Tap-1
Property Connection	☑	1	1	PC-	1		PC-1

Se continúa dando click en el mismo gráfico dibujando la red que se desea analizar. Para el presente ejercicio se procede con la primera red de agua residual que tiene la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE matriz, para ello previamente se dibuja en AutoCAD la red, obteniendo en líneas rojas la red sanitaria, círculos azules las alcantarillas y el triángulo verde el desagüe.



Se guarda el archivo en .dxf

Seleccionar la carpeta Background Layers y escoger New File.

En la ventana de explorador de archivos seleccionar la plantilla con extensión .dxf y dar click en Open.

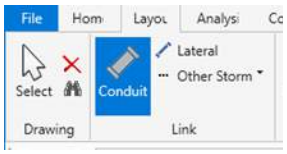
Click en OK en la ventana DXF Properties para aceptar las configuraciones.

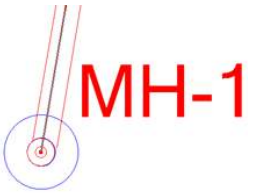
Click en el ícono Zoom Extents arriba del área del dibujo para ubicar la plantilla dentro de la ventana de trabajo. Mostrando el dibujo de la siguiente manera.



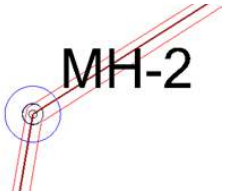
Seleccione Layout en la pestaña y continúe con las instrucciones para trazar la Red de agua residual. La red de tuberías debe seguir el mismo orden y cualquier variación se debe modificar haciendo click derecho sobre el elemento y modificando la etiqueta en Properties Manager.

Dar clic en Layout, y posteriormente dibujar la tubería en el ícono de Conduit, el programa por defecto crea la alcantarilla o denominado Manhole.

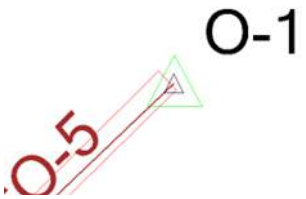




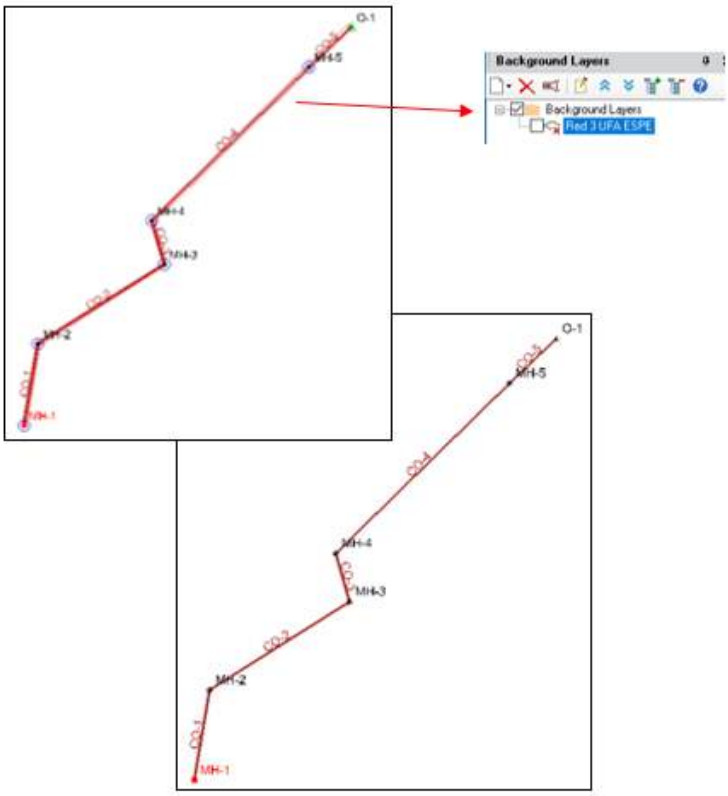
Se continua el dibujo de la red, en el siguiente la siguiente alcantarilla



Al finalizar la red se da clic en Esc, luego clic en el último Manhole para convertir a desagüe de la tubería, el cual se denomina como Outfall.



Finalmente se obtiene la red de agua sanitaria que se puede desactivar el Background Layers (la red dibujada en AutoCAD) quitando el visto sobre esta. Y se observa la red final dibujada en el SewerCAD la cual se va analizar.



Guarde el modelo dando click en el ícono Save o ir a la pestaña File > Save.

9. Ingreso de datos en SewerCAD

Existen 2 tipos de modificación de las propiedades:

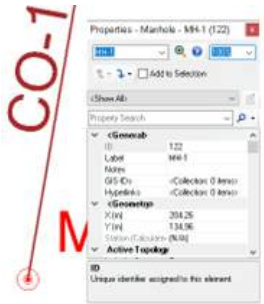
FlexTables: En donde se seleccione la pestaña de Home y luego dar clic en FlexTables para que aparezcan tablas dinámicas que permiten editar y mostrar los datos del modelo en un formato tabular. Puede editar los datos como lo haría en una hoja de cálculo.



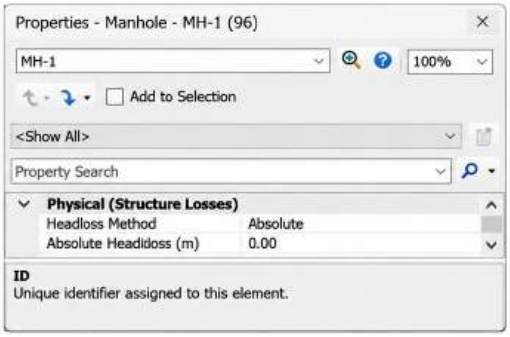
Editores alternativos: Seleccione en la pestaña Home, posteriormente en Scenarios. Se utiliza para asignar propiedades en varios escenarios diferentes y/o complejos y analizar cada uno con sus características específicas.

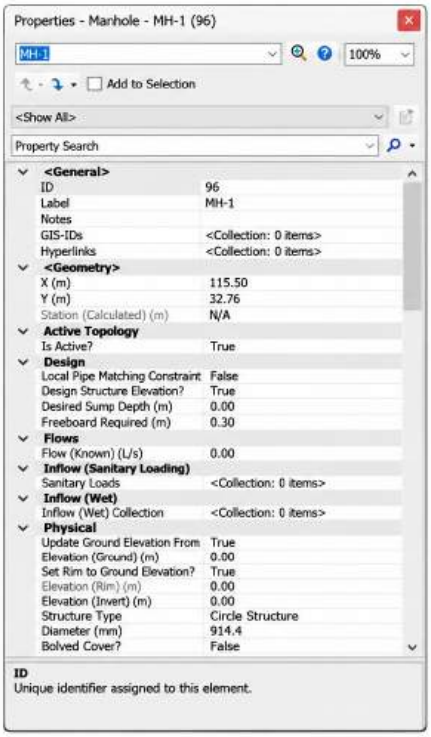


Seleccione con el clic derecho el elemento que se desea modificar, y luego haga click en Properties.

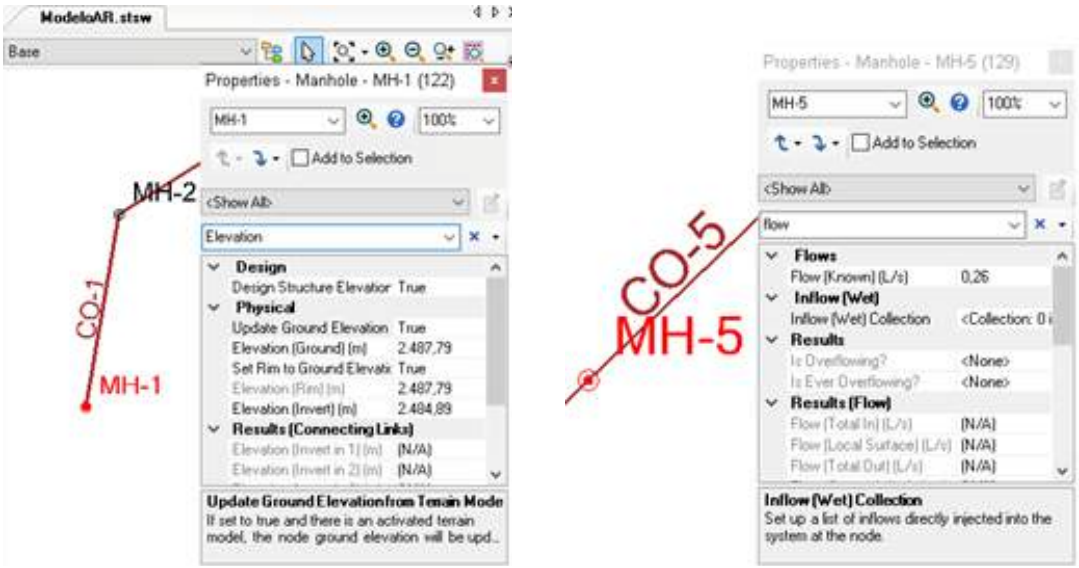


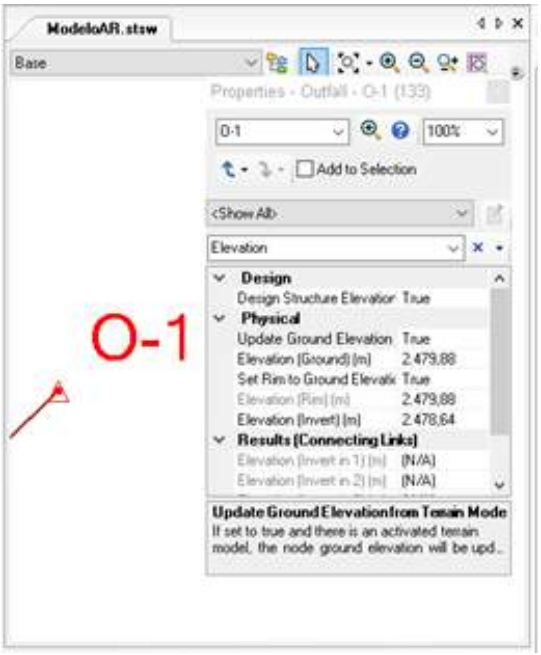
En los nodos se puede editar las propiedades de: General, Geometry, Active Topology, Design, Flows, Inflow, Physical.



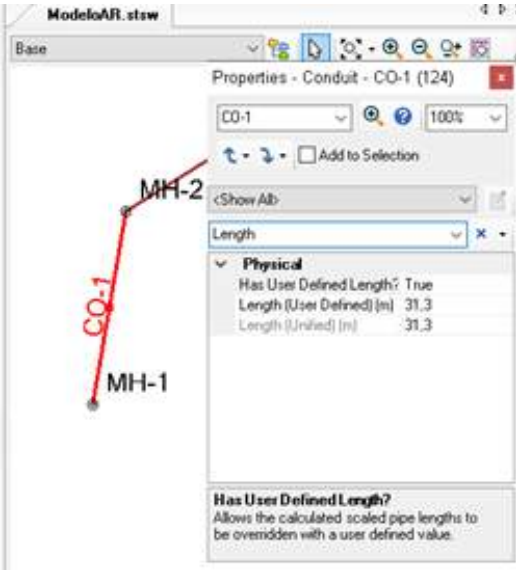


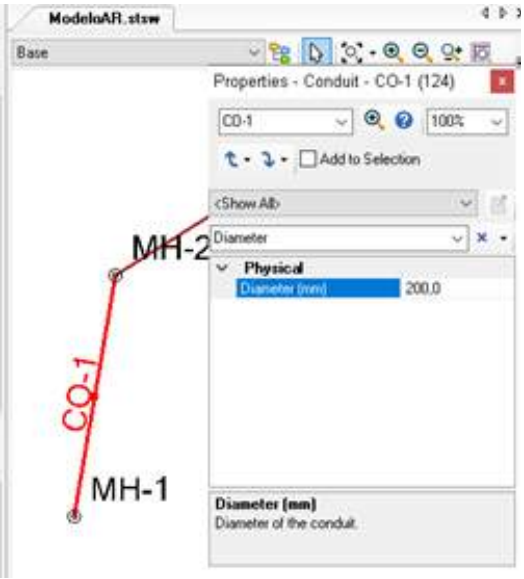
Se asigna la Elevation Ground (Elevación del terreno), la Elevation Invert (Elevación de la tubería) y el Flow (Flujo) para cada Manhole (Alcantarilla) y al finalizar se realizará para el Outfall (desagüe).





De igual manera se ingresan los parámetros de Length (longitud de la tubería), y Diameter (diametro); clic derecho en la tubería > Properties > ingresar el valor en metros.

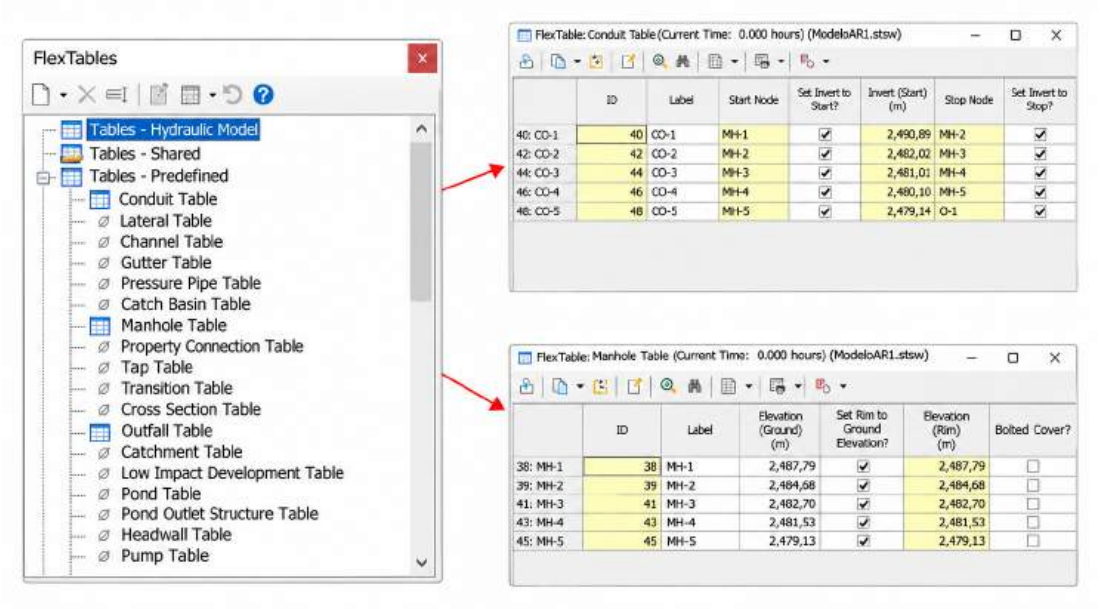




* Los datos asignados para la elevación de terreno, tubería y longitud de las mismas componentes son provenientes de la tesis realizada por el Ing. Alberto Garcés (Garces-Alarcon, 2022).

Como segunda opción para el ingreso de los parámetros como elevaciones, diámetros, materiales, logitudes y entre otras se puede ocupar la opción Flex

tables > Conduit Table o Manhole Table e ingresar en la misma tabla para cada elemento.



Se sigue el mismo procedimiento para todos los Manhole's y Conduit's. obtenidos de la siguiente tabla.

Manhole (MH-) Outfall (O-)	Ground Elevation (m)	Elevation Invert (m)	Flow (l/s)
MH-1	2487,79	2484,89	1,37
MH-2	2484,68	2482,03	0,00
MH-3	2482,70	2481,00	0,00
MH-4	2481,53	2480,06	0,00
MH-5	2479,13	2478,41	0,26
O-1	2479,88	2478,64	0,00

10. Métodos para ingresar el caudal

Para el ingreso del flujo se dirige en Home > Loading

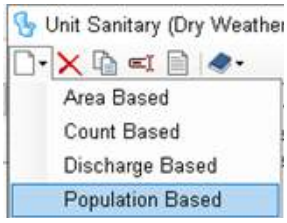


Unit Sanitary (Dry Weather) Loads

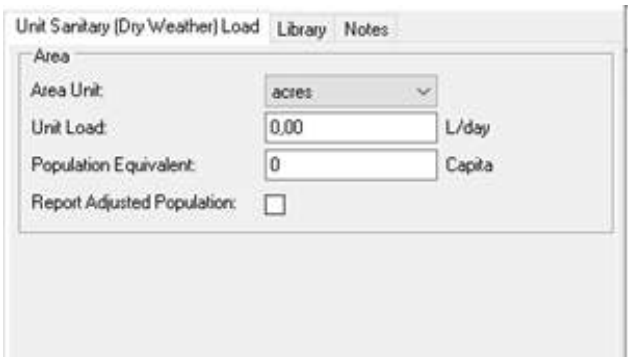
Se puede ingresar mediante la unidad de carga a todo el Sistema, para ello se utiliza las cargas unitarias sanitarias (clima seco), que es la dotación de toda la población en cada Manhole.



Luego de dar click en New, se tiene la opción de realizar por área, contenido, descarga y/o población.



Para el caso de Area Based el programa solicita la superficie, la unidad que se va a cargar en l/día y la población equivalente que abastece.

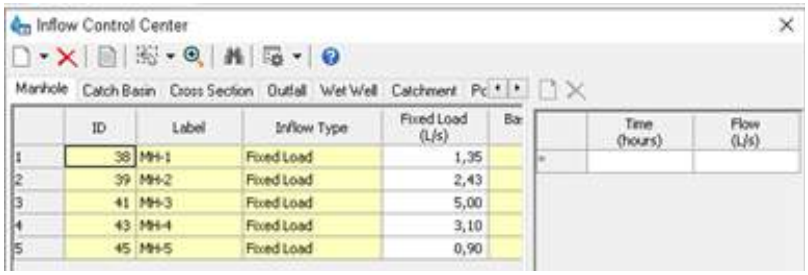


Inflow Control Center

Se puede ingresar mediante la carga a cada nodo en l/s o también se puede variar los periodos de flujo en base al tiempo como se muestra a continuación. Dar click en New y seleccionar el elemento que se desea carga, por default el programa considera el Manhole-1 como sugerencia para la carga.

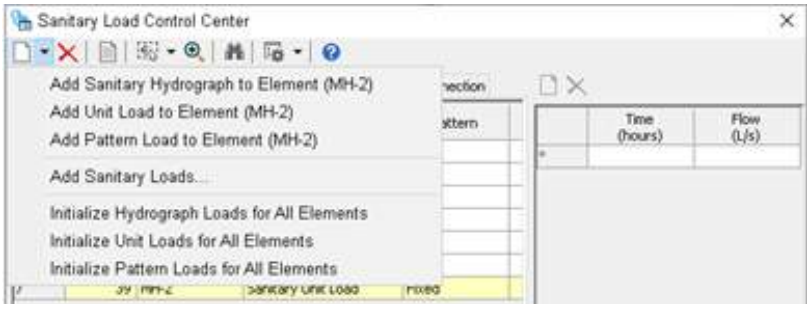


Una vez que se carga en cada Manhole la tabla de flujos en l/s, se muestra de la siguiente manera:

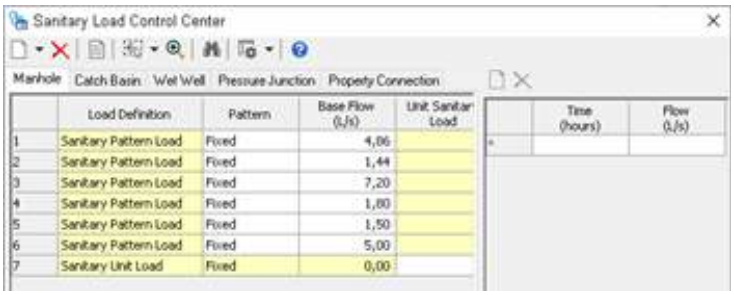


Sanitary Load Control Center

Base de flujo o unidades sanitarias del sistema y de igual manera se puede variar los periodos de flujo en base al tiempo, la diferencia es el ingreso por patrón de carga sanitaria.



Se selecciona el Manhole o alcantarilla en general que se dese tener la unidad sanitaria de carga.



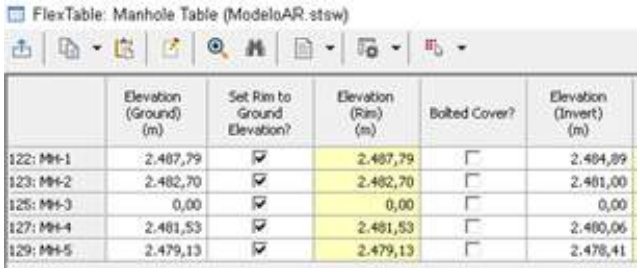
A continuación, se presentan los caudales de diseño para el ejercicio

Escenarios de la Red #1 de la UFA ESPE		
Escenario	Tipo Flujo	Valor
Régimen Permanente	Caudal de diseño	$Q = 0.48\ l/s$
Régimen No Permanente	Caudal máximo instantáneo	$Q_{max.inst.} = 0.7293\ l/s$
Deficiente	Caudal mínimo	$Q_{min} = 0.26\ l/s$

Continuando con los Conduit's de CO-1 hasta CO-5, se asigna los valores de la siguiente tabla:

Conduit (CO-)	Length (m)	Diameter (mm)
CO-1	31.3	200.0
CO-2	56.7	200.0
CO-3	16.8	200.0
CO-4	83.25	200.0
CO-5	21.85	200.0

Para visualizar que las propiedades se han ingresado correctamente si da clic en la pestaña Home > Flex Tables > Manhole, para alcantarilla.



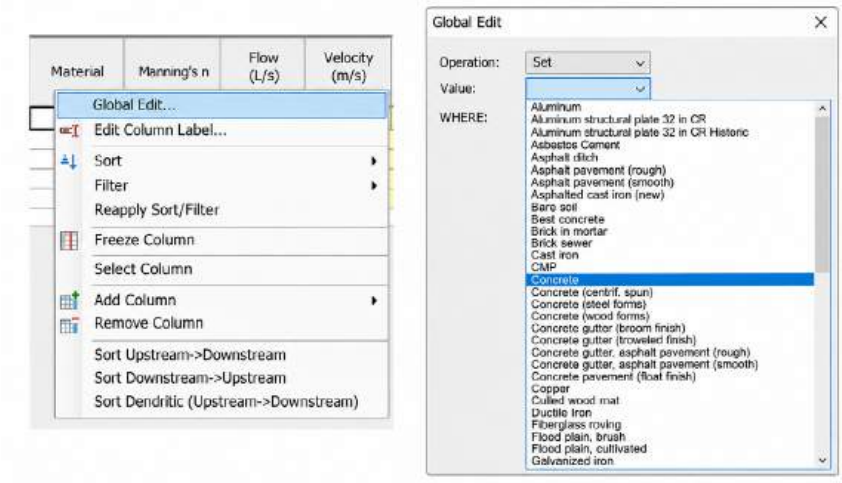
	Elevation (Ground) (m)	Set Rim to Ground Elevation?	Elevation (Rim) (m)	Bolted Cover?	Elevation (Invert) (m)
122: MH-1	2.487,79	☑	2.487,79	☐	2.484,89
123: MH-2	2.482,70	☑	2.482,70	☐	2.481,00
125: MH-3	0,00	☑	0,00	☐	0,00
127: MH-4	2.481,53	☑	2.481,53	☐	2.480,06
129: MH-5	2.479,13	☑	2.479,13	☐	2.478,41

Para visualizar que las propiedades se han ingresado correctamente si da clic en la pestaña Home > Flex Tables > Conduit, para tuberías.



	Start Node	Set Invert to Start?	Invert (Start) (m)	Stop Node	Set Invert to Stop?	Invert (Stop) (m)	Has User Defined Length?	Length (User Defined) (m)	Slope (Calculated) (m/m)	Section Type	Diameter (mm)
124: CO-1	MH-1	☑	2.484,89	MH-2	☑	2.481,00	☑	31,3	0,124	Circle	200,0
126: CO-2	MH-2	☑	2.481,00	MH-3	☑	0,00	☑	56,7	43,757	Circle	200,0
128: CO-3	MH-3	☑	0,00	MH-4	☑	2.480,06	☑	16,8	-147,623	Circle	200,0
130: CO-4	MH-4	☑	2.480,06	MH-5	☑	2.478,41	☑	83,3	0,020	Circle	200,0
132: CO-5	MH-5	☑	2.478,41	O-1	☑	2.478,64	☑	21,9	-0,011	Circle	200,0

Finalmente, para asignar el material a las tuberías se da clic derecho en Material > Global Edit… > Concrete > OK.



FlexTable: Conduit Table (ModeloAR.stsw)

	Start Node	Set Invert to Start?	Invert (Start) (m)	Stop Node	Set Invert to Stop?	Invert (Stop) (m)	Has User Defined Length?	Length (User Defined) (m)	Slope (Calculated) (m/m)	Section Type	Diameter (mm)	Material	Manning's n
124: CO-1	MH-1	☑	2.484,89	MH-2	☑	2.481,00	☑	31,3	0,124	Circle	200,0	Concrete	0,013
126: CO-2	MH-2	☑	2.481,00	MH-3	☑	0,00	☑	56,7	43,757	Circle	200,0	Concrete	0,013
128: CO-3	MH-3	☑	0,00	MH-4	☑	2.480,06	☑	16,8	-147,623	Circle	200,0	Concrete	0,013
130: CO-4	MH-4	☑	2.480,06	MH-5	☑	2.478,41	☑	83,3	0,020	Circle	200,0	Concrete	0,013
132: CO-5	MH-5	☑	2.478,41	O-1	☑	2.478,64	☑	21,9	-0,011	Circle	200,0	Concrete	0,013

11. Análisis para diferentes escenarios SewerCAD

Se debe conocer la siguiente nomenclatura para la herramienta LoadBuilder

New	Abre el Asistente de LoadBuilder.
Delete	Elimina una plantilla de LoadBuilder existente.
Rename	Cambia el nombre de una plantilla de LoadBuilder existente.
Edit	Abre el asistente LoadBuilder con la configuración asociada con la definición actualmente resaltada cargada.
Help	Opens the context-sensitive online help.

Para los métodos de carga se tiene:

Point Data Load (Carga de datos puntuales)

Billing Meter Aggregation (Agregación de contadores de facturación). Es aquella técnica de asignar todos los medidores dentro de un polígono de servicio a un nodo de demanda específico.



Billing Meter Aggregation

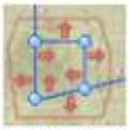
Nearest Node (Nodo más cercano). Es aquella forma de asignar demanda al nodo más cercano.



Nearest Node

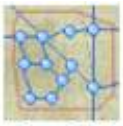
Nearest Conduit (Tubería más cercana). Es aquella forma de asignar la demanda a la tubería más cercana.

Flow Monitoring Distribution (Distribución de Monitoreo de Flujo). Es aquella forma de monitorear la cantidad de flujo que pasa por conducto o tubería.


Flow Monitoring Distribution

Area Load Data (Carga de datos del Área)

Equal Flow Distribution (Distribución de flujo uniforme). Consiste en la distribución uniforme de flujo a lo largo de toda la red; para ello se controlan las velocidades de entrada y salida para que las tasas de flujo sean las mismas en cada nodo.


Equal Flow Distribution

Proportional Distribution By Area (Distribución Proporcional Por Área). Consiste en la distribución uniforme de áreas o también conocida como áreas tributarias.


Proportional Distribution By Area

Proportional Distribution By Population (Distribución Proporcional Por Población). Consiste en la distribución proporcional en base a la población a la que se desea abastecer.


Proportional Distribution By Population

Population/land use data (Datos de población/uso de la tierra)

Projection By Land Use (Proyección Por Uso de Suelo). Consiste en el estudio de la dinámica del uso del suelo permite conocer su respectivo aprovechamiento


Projection By Land Use

Load Estimation By Population (Estimación de Carga Por Población). Consiste en el estudio de la cantidad de población agrupada a cada área y nodo, conociendo la dinámica que existe entre esas variables


Load Estimation By Population

Internal Data (Datos Internos)

Nearest Link (Enlace más cercano). La base para la carga de datos va relacionada a los elementos de conexión según la propiedad para asociarse o la derivación de estos.

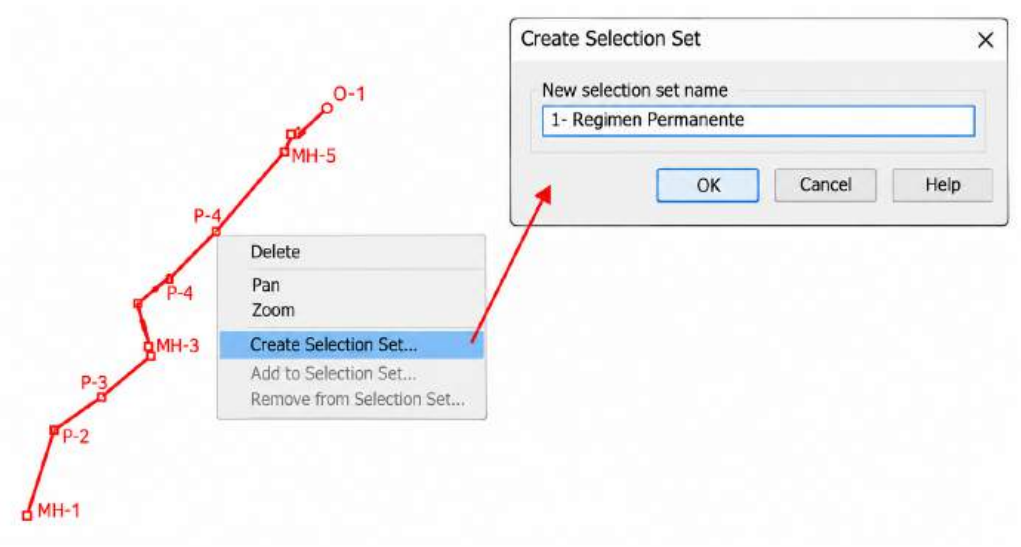

Nearest Link

A continuación, se detalla cómo sería el ingreso si se desea analizar los diferentes escenarios con la herramienta LoadBuilder, para lo cual se toma primero el régimen permanente de la red de aguas residuales de la UFA ESPE matriz, usando el método de áreas tributarias.

12. Régimen permanente en Loadbuilder

Sirve para observar el comportamiento de la red con un análisis de flujo o caudal constante a lo largo de todo el periodo (24 horas). Para ocupar la herramienta de Load Builder y comparar los escenarios se sigue el siguiente procedimiento:

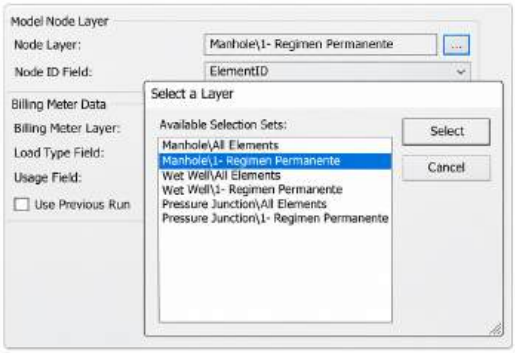
Seleccione la red de distribución y de un click derecho, en el menú seleccione la opción Create a Selección set, y asignar un nombre.



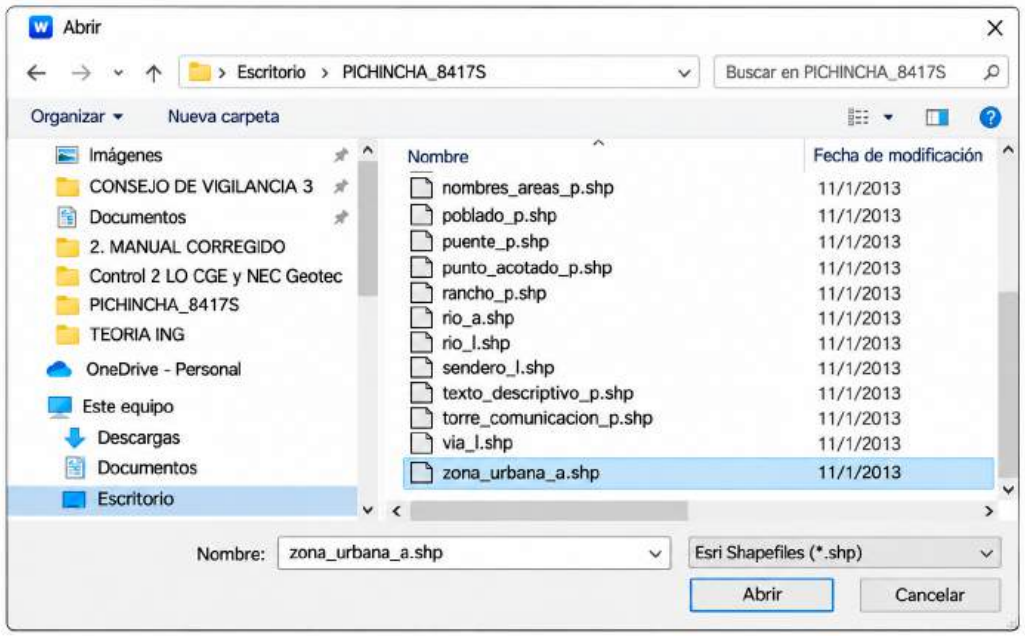
En la pestaña Tools seleccionar la herramienta LoadBuilder, Dar click en New, luego seleccionar la opción Point Load Data con el método Nearest Node.



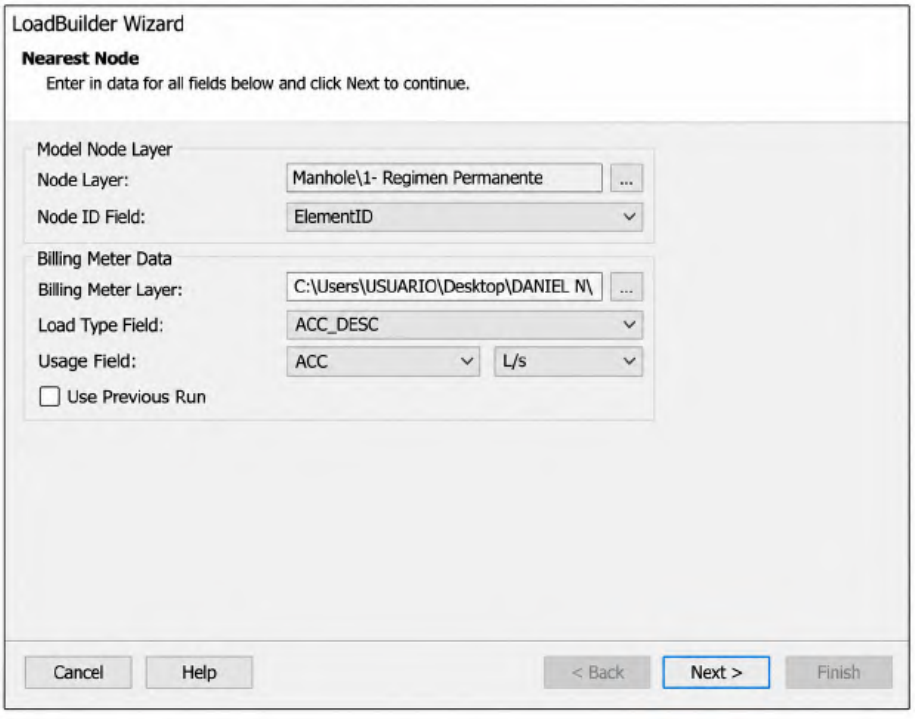
A continuación, se debe llenar los campos de Model Node Layer y Billing Meter Data. Para ello se selecciona en Node Layer, la pestaña creada para régimen permanente y se da clic en Select.



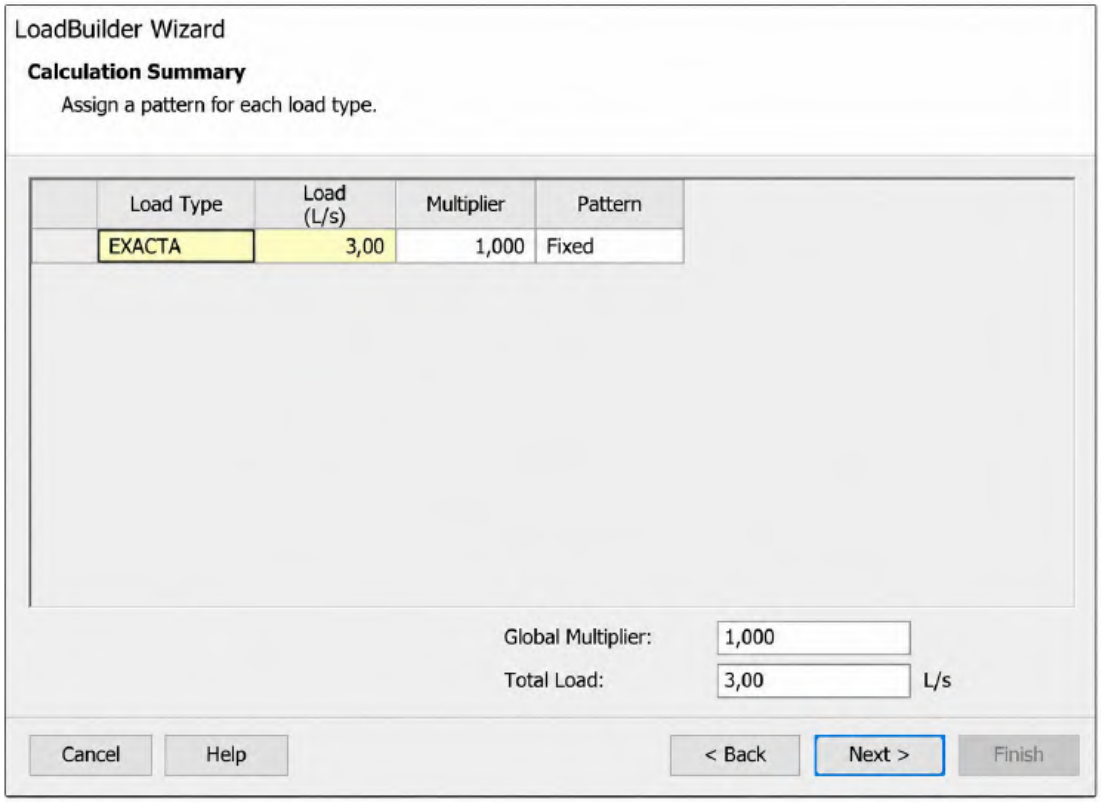
Se continúa en Billing Meter Layer y aquí se debe cargar el .shp de la topografía de la zona. (La ubicación es en Pichincha para la descarga de la carta topográfica). Aquí se requiere el campo por la codificación geográfica que requiere el tipo de método.



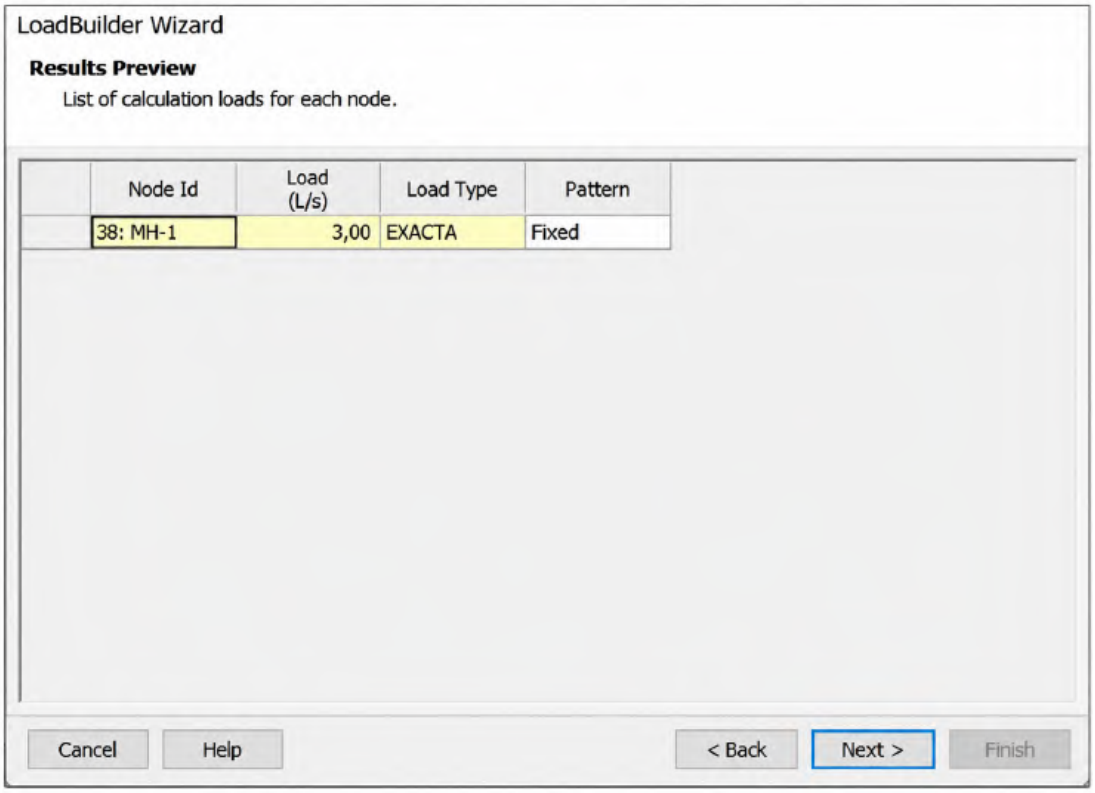
Se continúa con añadir el campo de tipo de carga o Load Type Field, con sus respectivas unidades y finalmente se da clic en Next.



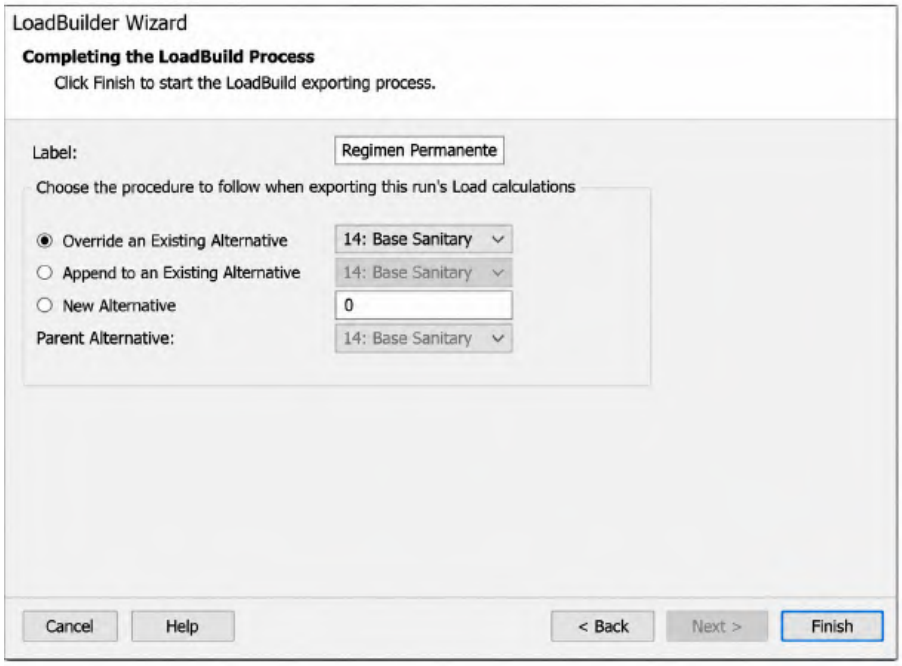
En el siguiente apartado, permite multiplicar por un factor de reducción a los datos obtenidos de la red, en Global Multiplier.



Puesto que la red está georreferenciada con los datos X, Y y Z en cada nodo, los resultados previos que se obtienen son un ingreso a la alcantarilla o Manhole 1, de 3 l/s. Se da clic en Next.



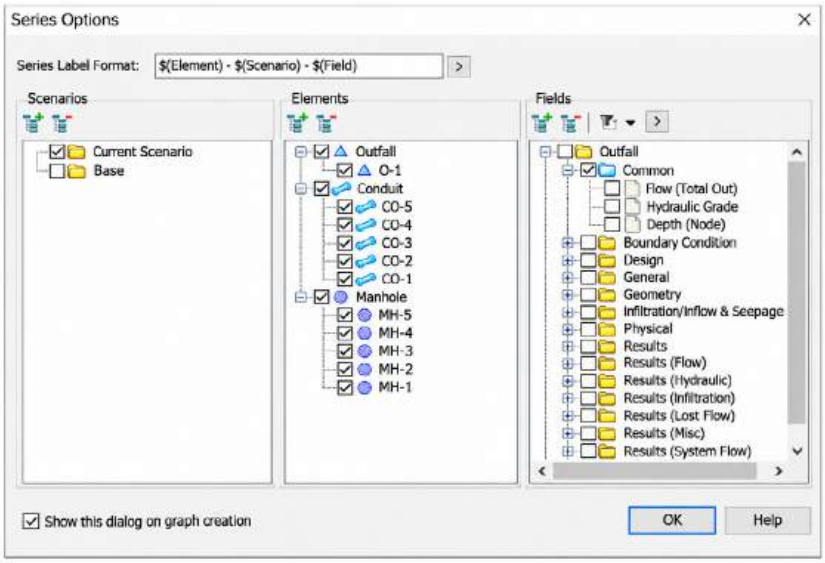
Se nombra a la etiqueta del Escenario en Label y se escoge la opción Override an Existing Alternative y clic en Finish.



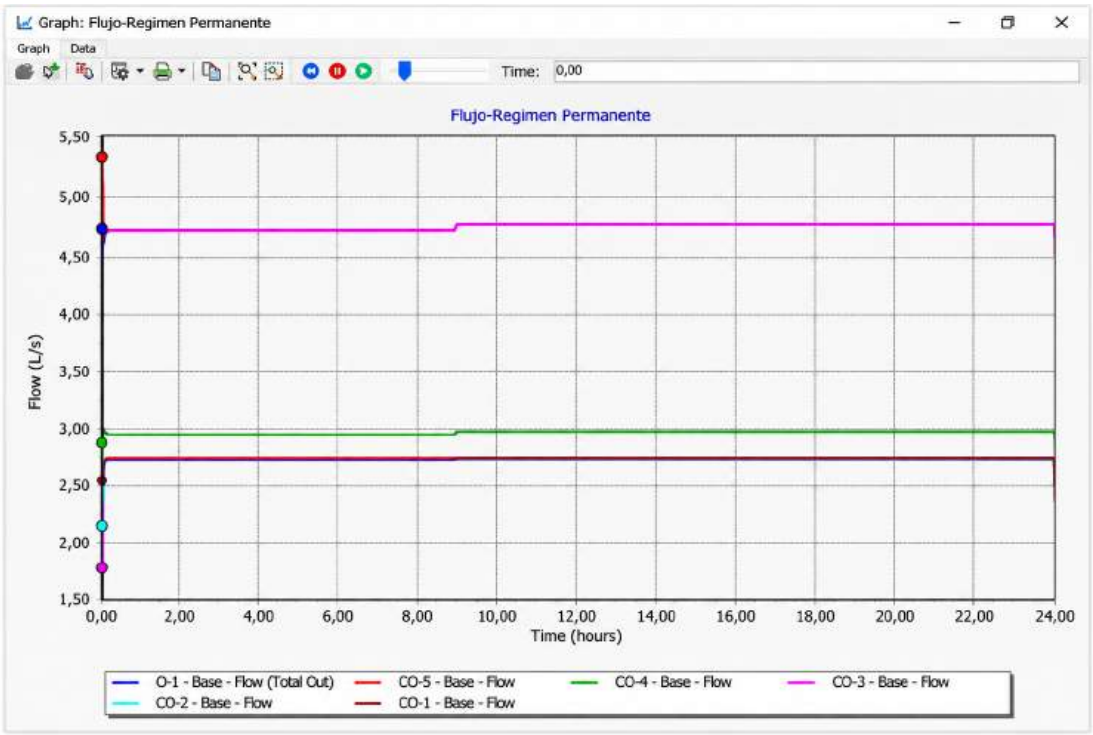
A continuación, se selecciona todo el modelo, se dirige a la pestaña Home > Graphs > New y click en Yes.



Se seleccionan todos los parámetros que se desea visualizar, en este caso Conduit, Manhole y Outfall; los cuales son las tuberías, alcantarillados y el desagüe respectivamente.



Finalmente, se obtiene el Flow (flujo) a lo largo de 24 horas. Si se desea, se puede renombrar la gráfica, en la opción Rename.



En el gráfico se indica la simulación en régimen permanente del flujo en SewerCAD, donde se observa la evolución del caudal en distintos elementos del sistema durante un periodo de 24 horas. Las curvas muestran un comportamiento prácticamente estable, lo que indica que el modelo hidráulico mantiene condiciones cercanas al equilibrio durante todo el intervalo analizado. Los caudales registrados en los diferentes tramos u nodos presentan valores constantes con ligeras variaciones alrededor de la hora 8, momento en donde se aprecia un pequeño incremento en algunas líneas del sistema. Este cambio sugiere un ajuste en las condiciones hidráulicas del modelo, posiblemente asociado a una modificación en las cargas de entrada o en la distribución de aportes dentro de la red. Sin embargo, después de ese punto los valores vuelven a estabilizarse, manteniendo un flujo prácticamente uniforme hasta el final del periodo de simulación.

En términos hidráulicos, este comportamiento refleja que la red opera bajo condiciones controladas y sin fluctuaciones significativas de caudal, lo cual es característico de análisis en régimen permanente donde las variaciones temporales de las cargas hidráulicas son mínimas y el sistema tiende a alcanzar rápidamente un estado de equilibrio.

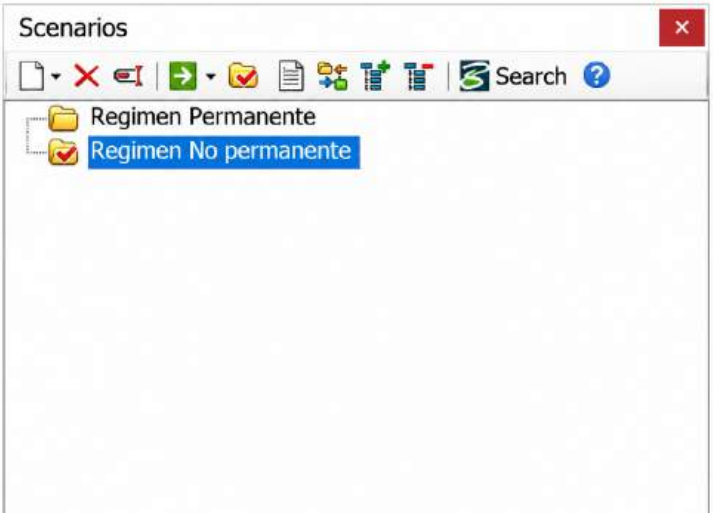
13. Régimen no permanente en Loadbuilder

Se define como aquella variación en la distribución de la red agua residual a lo largo del tiempo, se analiza principalmente por la existencia de fluctuaciones en los elementos de la red de agua sanitaria

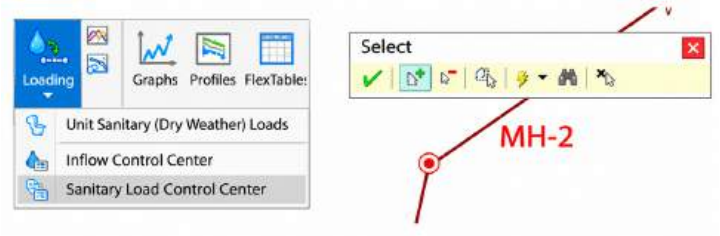
Primero, se asigna un nuevo escenario para el ingreso de los flujos en la pestaña Home > Scenarios.



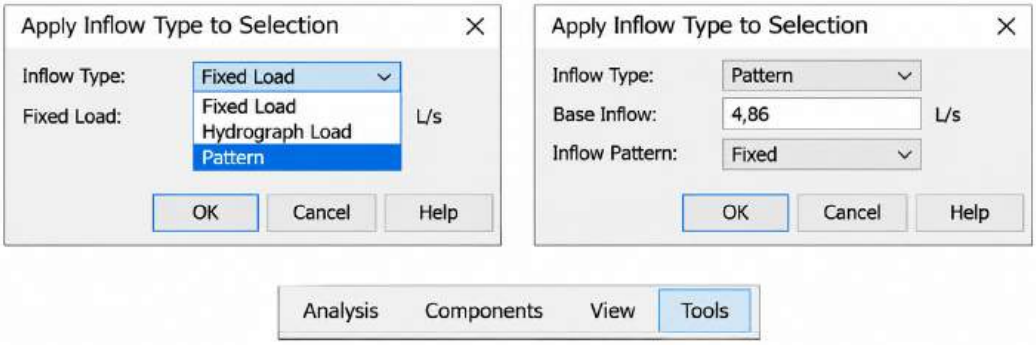
Se da clic en New > Scenario Base; se ingresa el nombre para identificar el escenario base.



Se continúa el procedimiento en la pestaña de Home > Loading > Inflow Control Center > New y se selecciona el Manhole al cual se le asigna el flujo; clic en el visto verde.

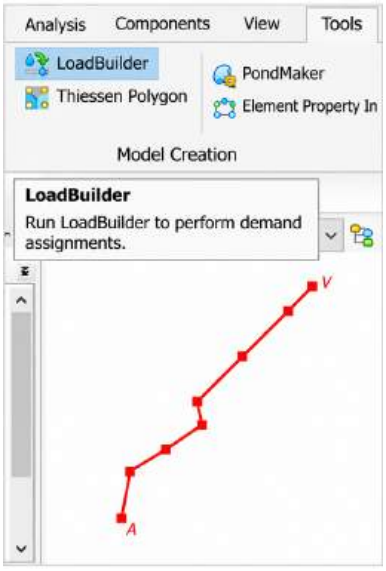


Se selecciona la opción Pattern en Inflow Type, y la cantidad de flujo que se desea ingresar en el nodo, clic en OK.

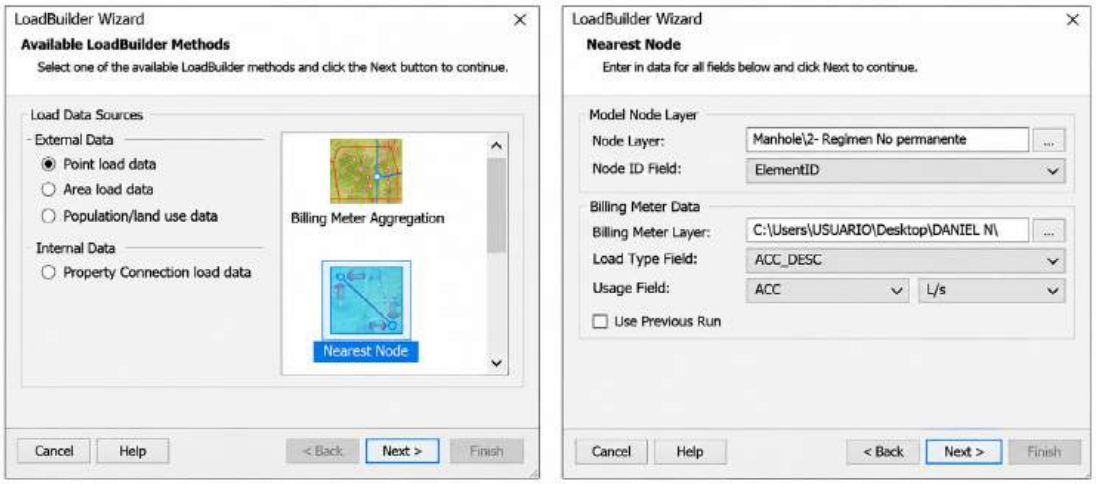


Se repite el procedimiento para todos los nodos.

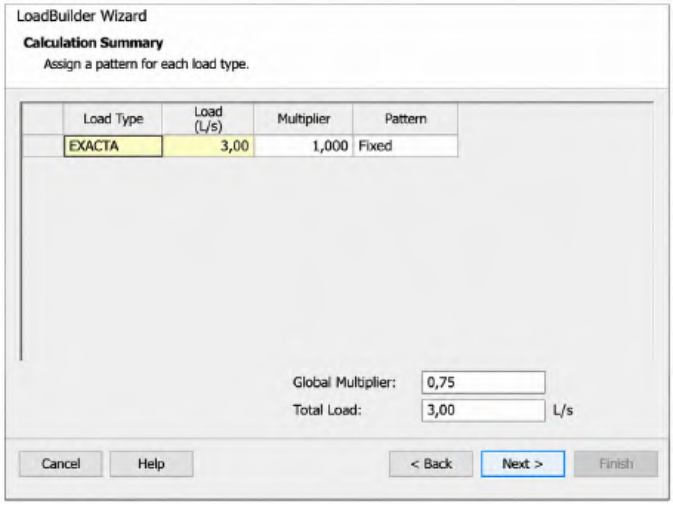
Una vez concluida la asignación del flujo base; se continúa en la pestaña Tools > Load Builder > New > Nombre del nuevo análisis (Régimen No Permanente).



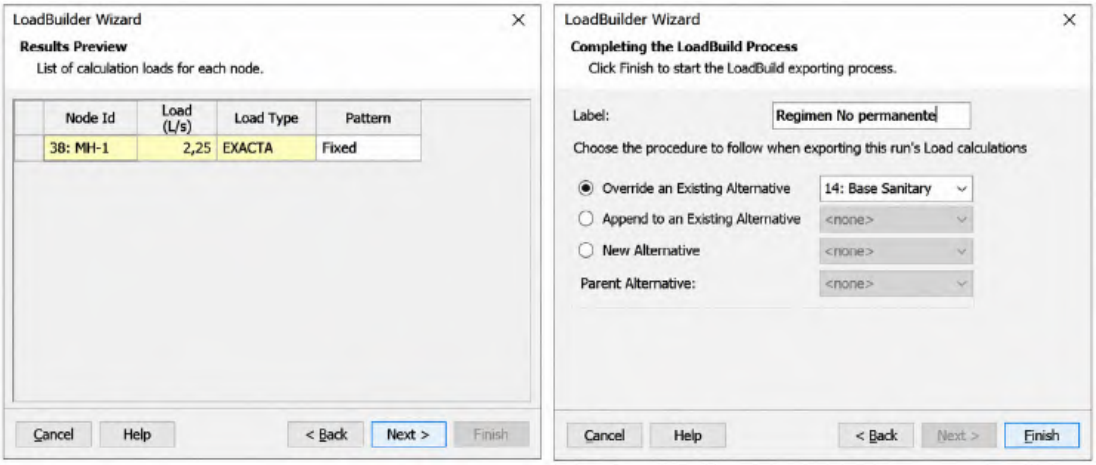
Se selecciona Point Load data > Nearest node clic en Next, se llenan los campos, pero está vez se coloca en el Node Layer > Regimen No permanente, que fue el set creado para este análisis, clic en Next.



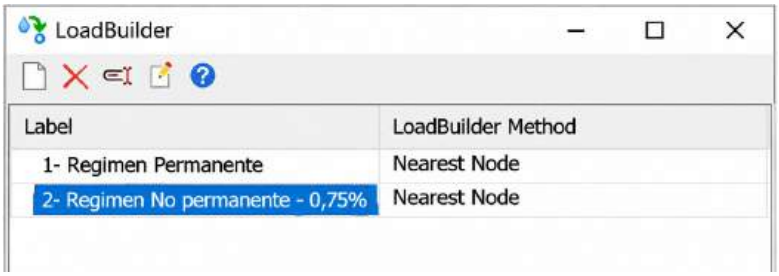
Como se analiza el régimen no permanente se asigna un factor de multiplicación que varía a toda la red, dependiendo del caso de análisis, si escoge si la tubería requiere trabajar al 75%, 110%, 50% o el caso de interés que se desee analizar.



Click en Next, y se observa cómo afecta a toda la red el factor de multiplicación, clic en Next. Se asigna un Label para este caso "Régimen No permanente" > 14: Base Sanitary y clic en Finish.

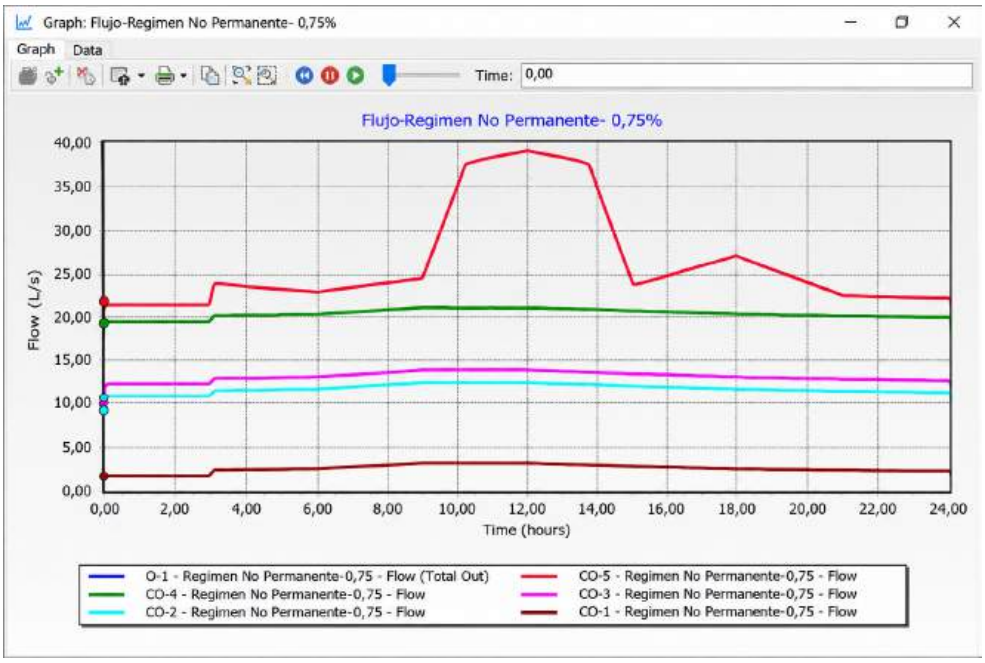


Se observa que están creados los 2 escenarios, tanto el Régimen Permanente como el No permanente para 75%, (siendo el multiplicador).

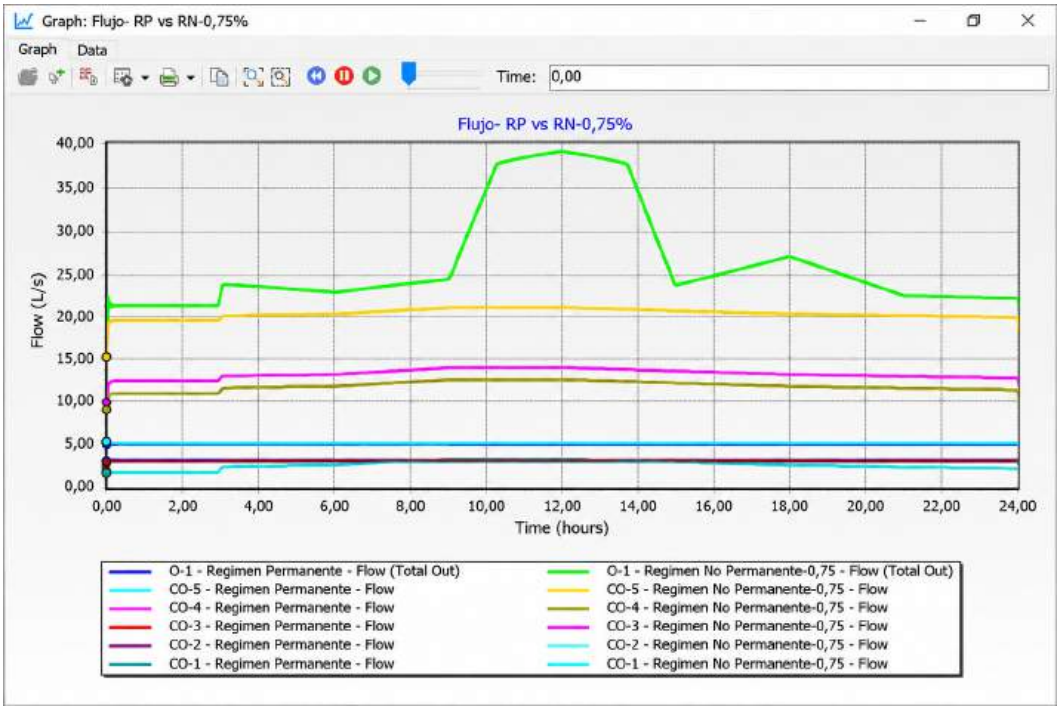


Se debe repetir el mismo procedimiento para los otros escenarios de análisis en el régimen No Permanente, variando el factor de multiplicación.

Se da clic en Graphs > New > Se añaden los datos que se desea que aparezcan en las gráficas.



Finalmente se pueden comparar las gráficas en flujo permanente y no permanente al 0.75 o 75%.



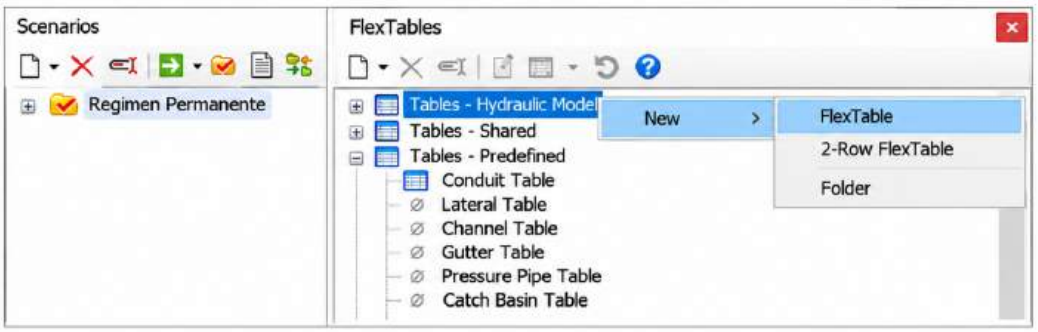
A partir del gráfico se observa el comportamiento del caudal en función del tiempo durante un periodo de simulación de 24 horas. El eje horizontal repre-

senta el tiempo (horas), mientras que el eje vertical muestra el caudal expresado en litros por segundo (L/s), lo que permite analizar la variación temporal de las descargas en distintos tramos o escenarios del sistema. El resultado evidencia que la mayor variabilidad del caudal ocurre en la curva principal, color verde, presenta un incremento progresivo desde las primeras horas del día hasta alcanzar un valor máximo cercano al mediodía, con magnitudes próximas a 38–40 L/s. Este comportamiento suele asociarse con el aumento de la actividad urbana y doméstica que se produce en las horas centrales del día, generando una mayor descarga hacia la red. Posteriormente, el caudal disminuye de forma relativamente rápida en las horas de la tarde, estabilizándose nuevamente hacia la noche en valores cercanos a los registrados al inicio del periodo analizado.

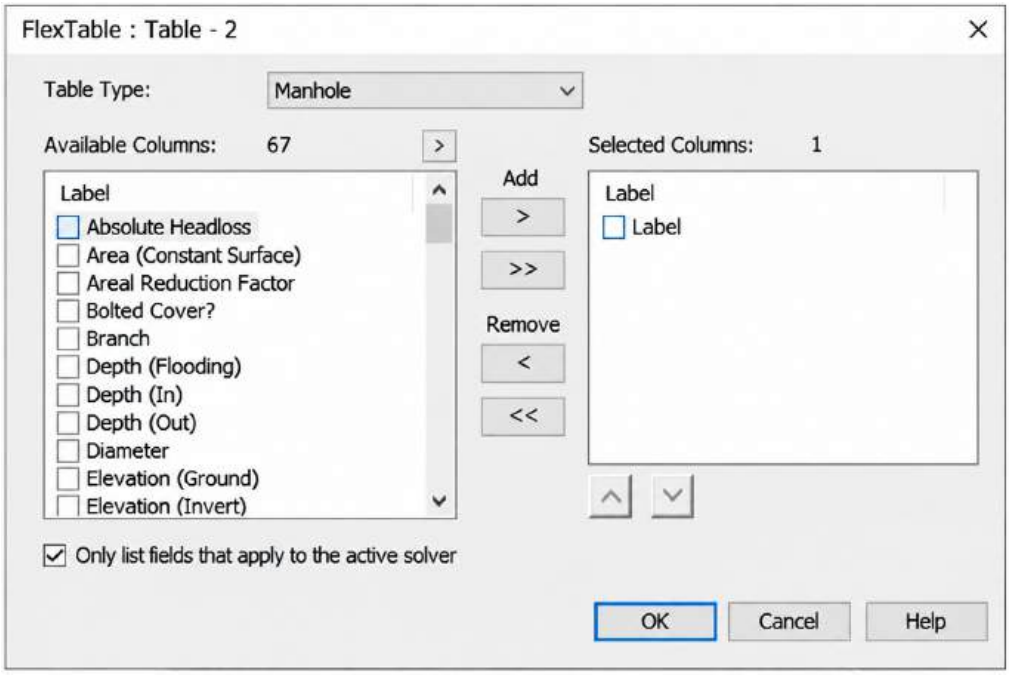
Las demás curvas del gráfico muestran variaciones mucho más moderadas, manteniéndose dentro de rangos relativamente constantes. Esto sugiere que ciertos aportes al sistema, como caudales base o contribuciones provenientes de sectores con menor variabilidad en la demanda, presentan un comportamiento más estable a lo largo del día. En particular, algunas líneas se mantienen prácticamente horizontales, indicando que dichos flujos no están significativamente influenciados por los patrones horarios de consumo.

13. Escenarios de análisis con la herramienta Scenarios

Anteriormente se detalló cómo se debe analizar con la herramienta Load-Builder, por otro lado, si se desea comparar escenarios sean estaos base o hijos se realiza el siguiente procedimiento: clic en Home > Scenarios, se selecciona FlexTables y se crea una nueva tabla para trabaja en el escenario Base denominado Regimen Permanente.



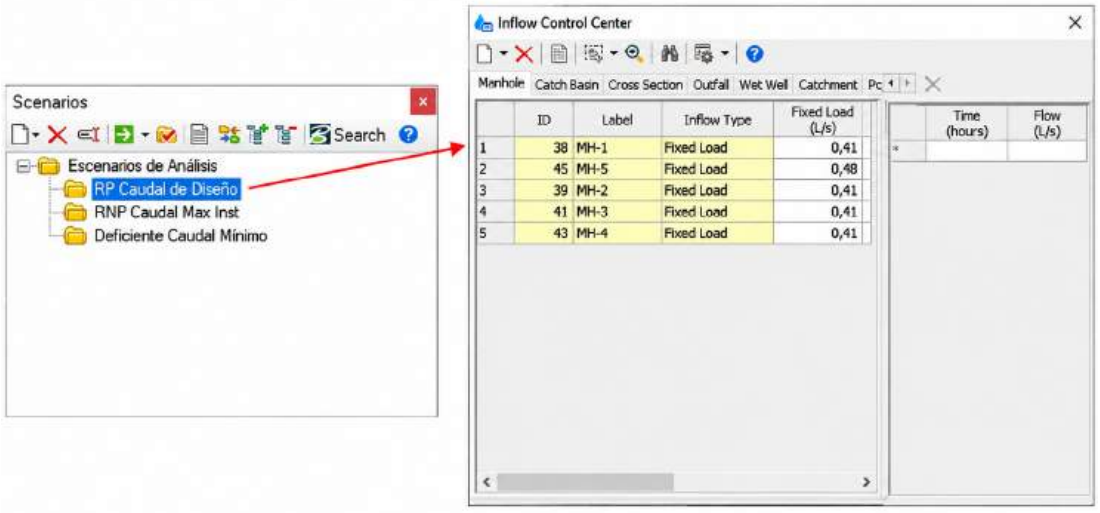
Se trabaja con el tipo de tabla Manhole y se necesita el Flow, y se da clic en ">" para añadir a las columnas y clic en OK.



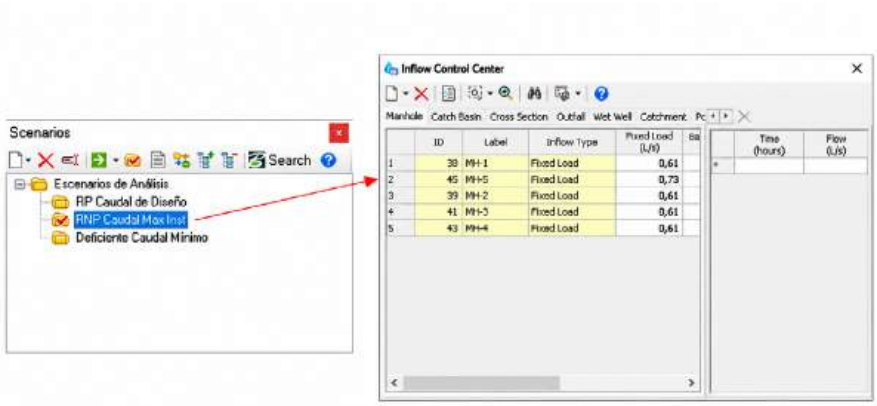
Se crea un escenario hijo para cargar los flujos que se va a analizar, clic New Scenario Child, obteniendo la siguiente forma.



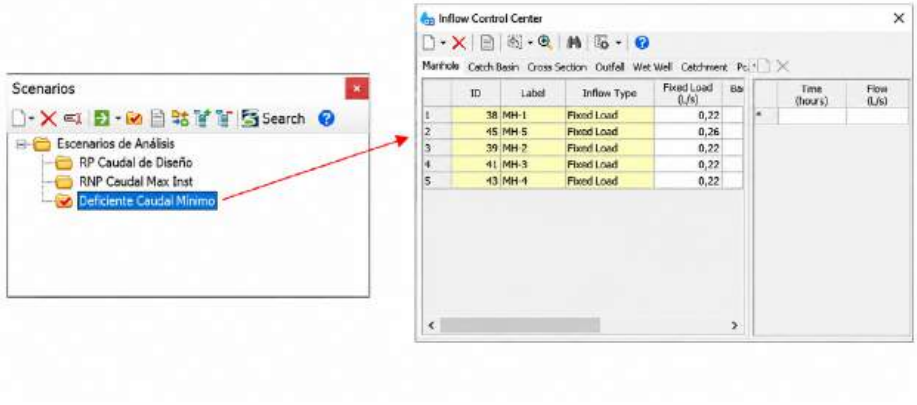
Para el primero escenario hijo referente a Régimen Permanente ocupando el caudal de diseño se añade los flujos de la siguiente manera.



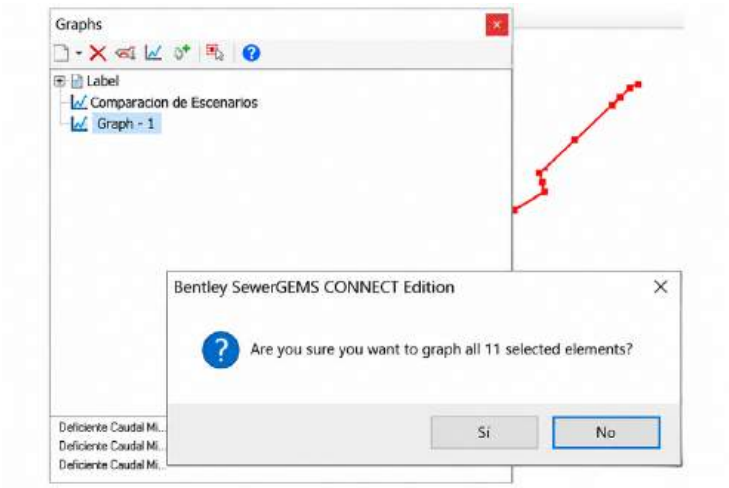
Para el segundo escenario hijo referente a Régimen No Permanente ocupando el caudal máximo instantáneo se añade los flujos de la siguiente manera.



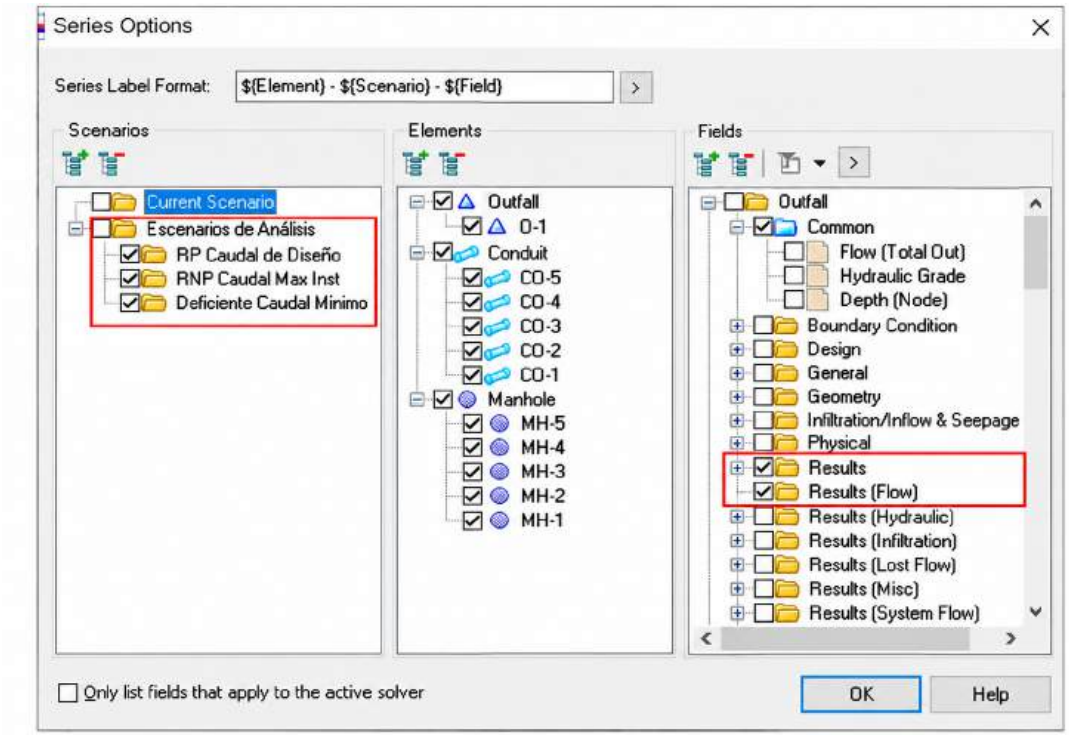
Para el último escenario hijo referente al escenario deficiente en donde se trabaja con un Caudal Mínimo se añaden los flujos de la siguiente manera.



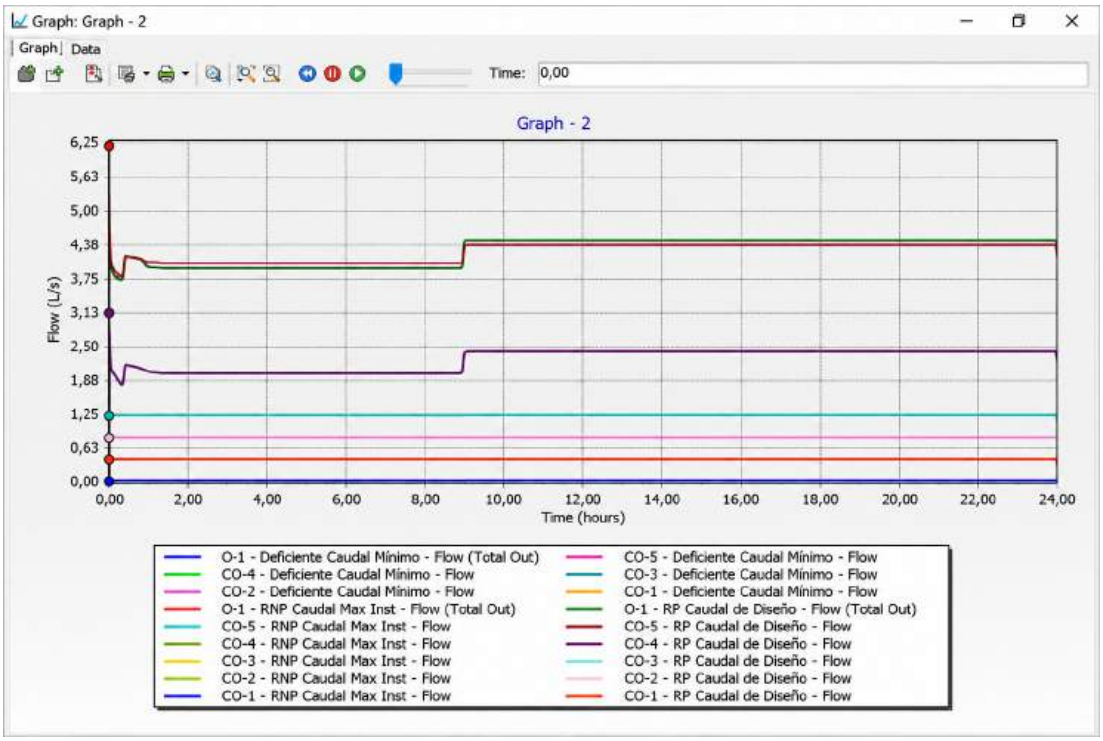
Finalmente, para comparar los escenarios se da clic en Compute > Graphs > y se seleccionan los 3 recuadros de los 3 escenarios hijos y las pestañas de flujos.



Se confirma en la opción de Si, si se verifican los recuadros seleccionados de los escenarios hijo.



A continuación, se presenta la gráfica de la comparación de escenarios teniendo el valor del flujo en abscisas y el tiempo en horas en las ordenadas.



El gráfico presenta la evolución del caudal que circula en distintos conductos de la red a lo largo de un periodo de simulación de 24 horas. En los primeros instantes del análisis se observa una breve variación en algunos de los ramales, lo que refleja el proceso de estabilización hidráulica del sistema cuando inicia la simulación. Posteriormente, los caudales tienden a mantenerse prácticamente constantes durante la mayor parte del tiempo evaluado, lo que indica que la red alcanza un régimen de operación estable en el que el aporte y la conducción de agua se equilibran.

Se distinguen varias curvas que representan diferentes condiciones de cálculo, tales como el caudal mínimo y el caudal correspondiente al periodo de retorno considerado en el diseño. Las líneas asociadas al caudal mínimo muestran valores más bajos y relativamente uniformes, evidenciando el comportamiento del sistema en condiciones de demanda reducida. En contraste, las curvas vinculadas al caudal de diseño presentan valores superiores, ya que incorporan los aportes generados durante eventos de lluvia que incrementan significativamente el volumen transportado por los conductos.

Otro aspecto relevante es que algunos tramos experimentan un incremento del caudal aproximadamente hacia la mitad del periodo analizado, lo que sugiere la incorporación progresiva de aportes provenientes de subcuencas o nodos adicionales de la red. Este aumento se mantiene constante hasta el final del intervalo de simulación, lo que demuestra que el sistema es capaz de conducir los caudales proyectados sin presentar variaciones bruscas o inestabilidad hidráulica.

Referencias

20 minutos. (2025, junio 24). Cómo funciona la siembra de nubes que usan países como Dubái: «Si se generaliza, podría convertirse en un problema transfronterizo». 20 minutos. https://www.20minutos.es/noticia/5237349/0/que-consiste-siembra-nubes-que-emplea-dubai/

Abastecimiento de agua y saneamiento para poblaciones rurales y urbano-marginales norma тecnica, Dirección General de Salud Ambiental de Perú 1 (1994). https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/417727/429914045612331676920191106-32001-j2hxkl.pdf?v=1573077586

Aber, S., Aguada, R., Marasinghe, R., Chow, C. W. K., Rameezdeen, R., & Xing, K. (2024). A Desktop Assessment of Ozone Micro-Nanobubble Technology for Algae and PFAS Removal from Surface Water Bodies Using Open-Source Water Quality Data. *Sustainability,* 16(2), 1-14. https://doi.org/10.3390/su16020668

ACCIONA. (2024, noviembre 12). Tratamiento de agua. La solución del problema del agua en el mundo . https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/

Acuerdo Ministerial 097-A publicado en el Registro Oficial 387, Legislation 097-A, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (2015). https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf

Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), & Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). (2025). Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad para la Gestión de Agua No Contabilizada. https://bde.fin.ec/wp-content/uploads/2025/03/LibroDigitalAguaPotable/index.html

agua.org.mx. (2024, noviembre 27). Editorial-hitos-gestion-agua-Vias-comunicacion. Paseantes sobre Canal de la Viga, principios del siglo XX. Foto cortesía: Juan Carlos Briones. https://agua.org.mx/editoriales/seis-hitos-historicos-la-gestion-del-agua-en-mexico/editorial-hitos-gestion-agua-vias-comunicacion/

Albert, C., Schröter, B., Haase, D., Brillinger, M., Henze, J., Herrmann, S., Gottwald, S., Guerrero, P., Nicolas, C., & Matzdorf, B. (2019). Addressing societal challenges through nature-based solutions: How can landscape planning and governance research contribute? Landscape and Urban

Planning, 182, 12-21. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.003

Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., & Parena, R. (2016). *Performance Indicators for Water Supply Services*: Third Edition. Water Intelligence Online, 15(0), 9781780406336-9781780406336. https://doi.org/10.2166/9781780406336

Al-Oweiti, Q. N., Kaoud, O. G., Ahmed, M. A. M., Ejaz, F., Elbassoussi, M. H., & Zubair, S. M. (2026). Techno-economic assessment of batch reverse osmosis desalination systems: Rating and design. *Desalination,* 634(120295), 1-25. https://doi.org/10.1016/j.desal.2026.120295

Alvarado-Galaviz Luis Javier. (2022). Sistema de drenaje pluvial sostenible con aplicación de SIG para una subcuenca urbana en la ciudad de Hermosillo, Sonora [Tesis de maestría en Ingeniería Urbana, Universidad de Sonora]. https://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/7020/1/alvaradogalavizluisjavierm.pdf

AM Group. (2025, junio 12). Cómo funciona una red de abastecimiento de agua potable. AM Group. https://www.aristegui.info/como-funciona-una-red-de-abastecimiento-de-agua-potable/

Angel, S., Parent, J., Civco, D. L., & Blei, A. M. (2011). Making Room for a Planet of Cities. https://www.citiesalliance.org/sites/default/files/2021-09/Making%20Room%20for%20a%20Planet%20of%20Cities.pdf

Antzoulatos, G., Mourtzios, C., Stournara, P., Kouloglou, I.-O., Papadimitriou, N., Spyrou, D., Mentes, A., Nikolaidis, E., Karakostas, A., Kourtesis, D., Vrochidis, S., & Kompatsiaris, I. (2020). Making urban water smart: the SMART-WATER solution. *Water Science and Technology*, 82(12), 2691-2710. https://doi.org/10.2166/wst.2020.391

Arbués, F., García-Valiñas, M. Á., & Villanúa, I. (2010). Urban Water Demand for Service and Industrial Use: The Case of Zaragoza. *Water Resources Management,* 24(14), 4033-4048. https://doi.org/10.1007/s11269-010-9645-5

Arena, F., & Pau, G. (2020). An overview of big data analysis. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(4), 1646-1653. https://doi.org/10.11591/eei.v9i4.2359

ASD. (2025). Delimitación de Fajas Marginales. ASD. https://asd.com.pe/delimitacion-de-fajas-marginales/

Asia Development Bank. (2007, marzo). Supporting the Asia-Pacific Water Forum (Financed by the Japan Special Fund) . ADB. https://www.adb.org/sites/default/files/project-documents//40616-reg-tar.pdf

Auquilla-Orellana, V. A. (2020). Caracterización del consumo de agua de los

jóvenes y sus efectos sobre la huella hídrica en escenarios de cambio climático en la ciudad de Cuenca – Ecuador. Período 2019-2020 [Tesina, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador]. https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/server/api/core/bitstreams/619adac9-abd7-4e0f-b2ee-1307e9834e4e/content

Ayala, M. F., Carrera-Villacrés, D., & Tierra, A. (2018). Relación espacio-temporal entre estaciones utilizadas para el relleno de datos de precipitación en Chone, Ecuador. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(2), 298-313.

Ayala, M. F., Tierra, A., & Carrera-Villacrés, D. (2018). Análisis de la dinámica de series temporales de variables meteorológicas en la estación climatológica Chone, Ecuador. *Geoacta*, 43(1), 51-67. https://revistas.unlp.edu.ar/geoacta/article/view/13319

Bali, D., Scaltrito, F., Grimaldi, M. T., Giardino, I., Pettoello-Mantovani, M., & Pastore, M. (2023). The impact of the endocrine disruptors on child health. *Global Pediatrics,* 5(1), 1-8. https://doi.org/10.1016/j.gpeds.2023.100069

Baquerizo, M., Acuña, M., & Solis-Castro, M. (2019). Contamination of river: case Guayas river and its affluent. *Manglar,* 16(1), 63-70. https://doi.org/10.17268/manglar.2019.009

Bareš, V., Stránský, D., & Sýkora, P. (2009). Sewer infiltration/inflow: long-term monitoring based on diurnal variation of pollutant mass flux. *Water Science and Technology,* 60(1), 1-7. https://doi.org/10.2166/wst.2009.280

Barile, S., & Polese, F. (2010). Smart Service Systems and Viable Service Systems: Applying Systems Theory to Service Science. *Service Science*, 2(1-2), 21-40. https://doi.org/10.1287/serv.2.1_2.21

BBC News Mundo. (2025, junio 24). ¿Es realmente efectivo el «bombardeo» de nubes que México utiliza contra la sequía? British Broadcasting Corporation. https://www.bbc.com/mundo/articles/ckmk2vd1nxjo

Beal, C. D., & Stewart, R. A. (2014). Identifying Residential Water End Uses Underpinning Peak Day and Peak Hour Demand. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(7). https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000357

Becerra-Perenguez, D. Y., Acosta-Astaiza, C. P., & Leyton-Luna, J. (2023). Gestión del recurso hídrico en la ruralidad, mediante estrategias de fortalecimiento comunitario. *Entramado*, 20(1). https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.10054

Beheshti, M., & Sægrov, S. (2019). Detection of extraneous water ingress into the sewer system using tandem methods – a case study in Trondheim city.

Water Science and Technology, 79(2), 231-239. https://doi.org/10.2166/wst.2019.057

Bentley Systems. (2020). FlowMaster (Edition Update 3; pp. 1-2). Bentley. https://www.bentley.com/en/products/brands/openflows-flowmaster

Blokker, E. J. M., Vreeburg, J. H. G., & van Dijk, J. C. (2010). Simulating Residential Water Demand with a Stochastic End-Use Model. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(1), 19-26. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000002

Brakman, S., Kohl, T., & van Marrewijk, C. (2025). Demography and income in the 21st century: a long-run perspective. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 18(1), 25-40. https://doi.org/10.1093/cjres/rsae040

Bursill, D. (2001). Drinking water treatment - understanding the processes and meeting the challenges. *Water Supply*, 1(1), 1-7. https://doi.org/10.2166/ws.2001.0001

Butler, D., Ward, S., Sweetapple, C., Astaraie Imani, M., Diao, K., Farmani, R., & Fu, G. (2017). Reliable, resilient and sustainable water management: the Safe & SuRe approach. *Global Challenges,* 1(1), 63-77. https://doi.org/10.1002/gch2.1010

Butler David, Digman Christopher, Makropoulos Christos, & Davies John. (2018). *Urban Drainage, Fourth Edition* (4th ed., Vol. 1). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781351174305

Cagüeñas, D., Orrego, M. I. G., & Rasmussen, S. (2020). The atrato river and its guardians: Ecopolitical imagination for weaving new rights. *Revista Colombiana de Antropologia*, 56(2), 169-196. https://doi.org/10.22380/2539472X.638

Camargo, A., & Camacho, J. (2018). Convivir con el agua. *Revista Colombiana de Antropología*, 55(1), 07-25. https://doi.org/10.22380/2539472X.567

Canal 11 TV México. (2024, noviembre 27). Sobre el agua - El desalojo de las aguas [Video recording]. https://www.youtube.com/watch?v=gyveMFe4i-w

Caravaggio, A., De Cesare, L., & Di Liddo, A. (2024). Optimal water tariffs for domestic, agricultural and industrial use. *Annals of Operations Research*, 337(3), 1135-1165. https://doi.org/10.1007/s10479-024-05822-y

Carrera-Villacrés, D. (2022). *Ciencia del Suelo. Caracterización y Conservación en el Ecuador* (ESPE, Vol. 1). ESPE. https://repositorio.espe.edu.ec/items/8600b9cf-6502-4492-8c33-56c38eb5b98d

Carrera-Villacrés, D., Araujo-Falcon, C. A., Amoroso-Guzmán, M. F., & Calde-

rón-Chiriboga, J. S. (2024). Water Losses in the Administrative Building at Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Through Data Analysis of a Flowmeter (IoT) and Wastewater Discharge. En C.-H. Weng (Ed.), *Proceedings of The 9th International Conference on Water Resource and Environment* (pp. 233-246). Springer Nature Singapore. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-0948-9_21#citeas

Carrera-Villacrés, D., Asipuela, D., Cárdenas, M., Carrillo, V., Guzmán, H., & Toapanta, S. (2025). Conditions of the Potable Water Supply System of the Administrative Building at the University of the Armed Forces ESPE Using the Geophone. En *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 634, pp. 350-360). https://doi.org/10.1007/978-981-96-5095-8_29

Carrera-Villacrés, D., Bahamonde-Coyago, C., Mancheno-Criollo, C., Mena-Castro, R., Moreira-Pin, J., Ordóñez-Ríos, M., & Sailema-Hurtado, W. (2022). Dynamic Model of SARS-CoV-2 Spread and Drinking Water Consumption Impact at Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology,* 12(3), 994-1000. https://ijaseit.insightsociety.org/index.php/ijaseit/article/view/14682/pdf_2115

Carrera-Villacrés, D., Cañizares, L., Jhony, L., Lora-Quelal, C., Pilaguano, M., Nuñez, D., & Rivas, C. (2026). 3D Geostatistical Model for the Identification of Water Recharge Zones in the Mama Tena and Urku Huayku Basin of the Ilaló Volcano using Empirical Bayesian Kriging (EBK3D). In press. Lecture Notes in Civil Engineering.

Carrera-Villacrés, D., Carrera-Villacrés, J. L., Braun, T., Zhao, Z., Gómez, J., & Quinteros-Carabalí, J. (2020). Fog Harvesting and IoT based Environment Monitoring System at the Ilaló volcano in Ecuador. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology,* 10(1), 407-412. https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.1.10775

Carrera-Villacrés, D., Gavilanes, P., Brito, M. J., Criollo, A., Chico, A., & Carrera-Villacrés, F. (2025). Water and Sediment Quantity and Quality Generated in Check Dams as a Nature-Based Solutions (NbS). *Water*, 17(6), 1-15. https://doi.org/10.3390/w17060810

Carrera-Villacrés, D., Lima, L., & Montero, W. (2025). Water recharge, hydrological processes, and surface water quality through Nature-Based Solutions (NBS) in streams of the Ilaló volcano. Preprint. https://eartharxiv.org/repository/view/10349/

Carrera-Villacrés, D., & Loaiza, V. (2024). Implementation of an Automated

System Using IoT Flowmeters at a Pilot Level to Demonstrate Its Applicability in a Remote Population of the Border from Ecuador, South America. En A. and H. O. and G. A. and S. A. and R.-C. J. and P. S. and L. V. J. and E.-K. A. M. and P. N. Ksibi Mohamed and Negm (Ed.), *Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions* (3rd Edition) (pp. 101-104). Springer Nature Switzerland. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-43922-3_24#citeas

Carrera-Villacrés, D., Martínez-Molina, C. A., & Montero-Yancha, W. F. (2024). Fugas de agua no visibles en los sistemas de abastecimiento hídrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE). *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-20. https://doi.org/10.31637/epsir-2024-326

Carrera-Villacrés, D., Montaño, E., Quintuña, M., Guerrón, E., Aguilar, P., Yanacallo, F., & Nuñez, J. (2025). Dynamic and Statistical Modeling Used to Identify Critical Points in Water Resources Through IoT Sensors at Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. En *Lecture Notes in Networks and Systems* (pp. 3-15). https://doi.org/10.1007/978-3-031-87704-9_1

Carrera-Villacrés, D., Montero, F., & Lima, L. (2025, marzo 1). Manual de EPANET versión 2.2 con un ejemplo práctico en una comunidad de San Francisco de Baños en el volcán Ilaló. https://www.researchgate.net/publication/389848706_Manual_de_EPANET_version_22_con_un_ejemplo_practico_en_una_comunidad_de_San_Francisco_de_Banos_en_el_volcan_Ilaló

Carrera-Villacrés, D. V., Cabrera-Torres, A. C., Chiriboga, G., & Chuquin, H. (2023). *IoT Flowmeter to Obtain the Real Provision of Drinking Water of the Administrative Building at Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE*. En C. Garcia Marcelo V. and Gordón-Gallegos (Ed.), CSEI: International Conference on Computer Science, Electronics and Industrial Engineering (CSEI) (pp. 380-389). Springer Nature Switzerland. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-30592-4_26#citeas

Carrera-Villacrés, D. V., Carrera-Villacrés, F. B., Carrera Villacrés, J. L., & Vernaza, L. (2023). Fog Collectors Systems with IoT Sensors in the Andes and Coastal Regions of Ecuador Southamerica and Data Processing (pp. 265-275). https://doi.org/10.1007/978-3-031-24327-1_23

Carrera-Villacrés, D. V., Carrera-Villacrés, F. B., Carrera-Villacrés, J. L., & Vernaza, L. (2023). Fog Collectors Systems with IoT Sensors in the Andes and Coastal Regions of Ecuador Southamerica and Data Processing. En J. and R.-M. G. Robles-Bykbaev Vladimir and Mula (Ed.), *Intelligent Tech-*

nologies: Design and Applications for Society (pp. 265-275). Springer Nature Switzerland. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-24327-1_23#citeas

Carrera-Villacrés, D. V., Gallegos Rios, D. F., Chiliquinga López, Y. A., Córdova Córdova, J. J., & Arroba Giraldo, A. M. (2024). The Implementation of IoT Sensors in Fog Collector Towers and Flowmeters for the Control of Water Collection and Distribution. *Applied Sciences*, 14(18). https://doi.org/10.3390/app14188334

Carrera-Villacrés, D. V., Garcés, R. A., Tierra Criollo, A. R., Duran, R., & Raura, G. (2022). Drinking Water and Sewerage at the Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE and Implementation of an Internet of Things Flowmeter. En G. and F. C. E. R. and B.-G. S. Herrera-Tapia Jorge and Rodriguez-Morales (Ed.), Information and Communication Technologies (pp. 73-84). Springer International Publishing. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18272-3_6#citeas

Carrera-Villacrés, D. V., Guevara-García, P. V., Tamayo-Bacacela, L. C., Balarezo-Aguilar, A. L., Narváez-Rivera, C. A., & Morocho-López, D. R. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media. *Idesia* (Arica), 34(3), 81-90. https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300010

Carrera-Villacrés, D.-V., Cabrera-Torres, A.-C., Chiriboga, G., & Chuquin, H. (2023). IoT Flowmeter to Obtain the Real Provision of Drinking Water of the Administrative Building at Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE (pp. 380-389). https://doi.org/10.1007/978-3-031-30592-4_26

Carrera-Villacrés, D. V., Robalino, I. C., Rodríguez, F. F., Sandoval, W. R., Hidalgo, D. L., & Toulkeridis, T. (2017). An Innovative Fog Catcher System Applied in the Andean Communities of Ecuador. *Transactions of the ASABE*, 60(6), 1917-1923. https://doi.org/10.13031/trans.12368

Carta de viabilidad técnica ETAPA, ETAPA 1 (2017). https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/convocatoria_interceptor_xvi/11.VIABILIDAD_TECNICA.pdf

Cavallo Eduardo, Powell Andrew, & Serebrisky Tomás. (2020). De estructuras a servicios El camino a una mejor infraestructura en América Latina y el Caribe (Vol. 1). https://flagships.iadb.org/es/DIA2020/de-estructuras-a-servicios

Cebrián Águila, J., & Díez Peralta, E. M. (2013). La gestión del agua en la Unión

Europea [Trabajo de fin de grado, Universidad de Almería]. https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/2419/Trabajo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CEPAL. (2024, noviembre 6). Acerca de Asentamientos Humanos. https://www.cepal.org/es/temas/asentamientos-humanos/acerca-asentamientos-humanos

CEPIS. (2005). Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialtrujillo/archivos/public/docs/418.pdf

Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology (Vol. 1). https://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf

Comisión Nacional del Agua. (2019). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario (CONAGUA, Vol. 1). CONAGUA. https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro20.pdf

CONAGUA. (2019a). Datos Básicos Para Proyectos De Agua Potable Y Alcantarillado (Basic Data for Potable Water and Sewage Projects). En *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento - Libro 4* (MAPAS, Vol. 1). https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf

CONAGUA. (2019b). *Libro 12. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.* Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable (CONAGUA, Ed.; 1.a ed., Vol. 1). https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro12.pdf

CONAGUA. (2019c). Libro 13. Modelación Hidráulica y de Calidad del Agua en Redes de Distribución.

CONAGUA. (2019d). Libro 19. Drenaje pluvial urbana. *Manual de Agua Potable y Alcantarillado* (Vol. 1). https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro19.pdf

CONAGUA. (2019e). *Libro 20. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.* Alcantarillado Sanitario (CONAGUA, Ed.; Vol. 1). https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro20.pdf

CONAGUA. (2019f). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Metodologías de Evaluación Socioeconómica y Estructuración de Proyectos de Inversión* (Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento, Mejoramiento de Eficiencia y Protección a Centros de Población) (LIBRO 2, Ed.; 1.a ed., Vol. 1). CONAGUA. https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro2.pdf

CONAGUA. (2019g, enero 2). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.* MAPAS de CONAGUA. https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas

Cortez-Mejía, P. E., López-López, E. E., & Rodríguez-Varela, J. M. (2024). Impacto de la medición de consumos del uso público urbano del agua en México. *Ingeniería del Agua,* 28(1), 33-45. https://doi.org/10.4995/ia.2024.20509

Costa, D. F., & Soares, A. K. (2020). Costs and Impacts of a Smart Metering Program in a Water Distribution System: Case Study in Brasília, Brazil. The 4th EWaS International Conference: Valuing the Water, Carbon, Ecological Footprints of Human Activities, 1-8. https://doi.org/10.3390/environsciproc2020002007

CPE INEN 05. (1992). NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES. CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. C.E.C. . https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/normas_disec3b1o_cpe_inen_5_parte_9-1_1992-mas-de-1000-hab.pdf

De Giusti, A. E. (2023). Transformación Digital en Educación Superior. Posibilidades y Desafíos. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, (35), 9-15. https://doi.org/10.24215/18509959.35.e1

Díaz del Castillo, Bernal., Serés, Guillermo., & León Portilla, Miguel. (2014). Historia verdadera de la conquista de la Nueva España. Academia Mexicana de la Lengua. https://www.academia.org.mx/aml_static/publicaciones/muestras/Historia-verdadera.pdf

Drop Hidráulica Aplicada. (2025, septiembre 25). Fórmula de Manning para el cálculo y diseño de canales. Sitio web Drop Hidráulica Aplicada. https://drophidraulicaaplicada.com/2025/06/04/formula-de-manning-para-el-calculo-y-diseno-de-canales-abiertos/

Du, S., Shi, P., Van Rompaey, A., & Wen, J. (2015). Quantifying the impact of impervious surface location on flood peak discharge in urban areas. *Natural Hazards*, 76(3), 1457-1471. https://doi.org/10.1007/s11069-014-1463-2

Econova. (2025, junio 19). Sistema de captación de agua pluvial en el entorno urbano. *Econova Institute* . https://econova-institute.com/sistema-captacion-pluvial/

El Comercio. (2025a, enero 20). La 'hora de Sixto' fue en 1993. https://www.

elcomercio.com/actualidad/hora-sixto-1993.html

El Comercio. (2025b, febrero 14). Ocho zonas de riesgo, a lo largo del río Monjas en Quito. 1-3. https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/rio-monjas-zonas-riesgo-talud.html

El Sol de Toluca. (2024, noviembre 28). Obra hidráulica del porfiriato sigue en pie y operando en Zumpango. https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/obra-hidrahulica-del-porfiriato-sigue-en-pie-y-operando-en-zumpango-1932942.html

El Telegrafo. (2025, enero 27). *El río Machángara es un foco de contaminación*. 1-3.

El Universo. (2024, noviembre). China planea construir una represa gigante que produciría tres veces más electricidad que la de las Tres Gargantas. https://www.eluniverso.com/noticias/internacional/china-planea-construir-una-megarrepresa-que-produciria-tres-veces-mas-electricidad-que-la-de-las-tres-gargantas-nota/

El Universo. (2025, enero 22). ¿Cómo afectó el fenómeno de El Niño de 1997 y 1998 al Ecuador? https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/como-afecto-el-fenomeno-de-el-nino-de-1997-y-1998-al-ecuador-nota/?form=MG0AV3

Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q). (2002). Proyecto SISHILAD: Sistema Hidrológico para el Distrito Metropolitano de Quito.

EPMAPS. (2025, octubre 30). Proyecto de Agua Potable y Alcantarillado para Quito. EPMAPS. https://www.aguaquito.gob.ec/estudios-de-pre-factibilidad-y-factibilidad-de-emisarios-sanitarios-y-ptar-quito/

EPMAPS Agua de Quito. (2025, abril 15). Agua de Quito. https://www.aguaquito.gob.ec/nuestra-historia/

Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica. (1999). H Canales. http://maximovillon.blogspot.com/p/hcanales.html

Expreso. (2025, febrero 14). Tiempo y dinero, dos limitantes para descontaminar el río Machángara. 1-3. https://www.expreso.ec/quito/dinero-dos-limitantes-descontaminar-rio-machangara-217574.html?form=MG0AV3

Fang, X., Liu, J., Zhou, M., Zhang, H., & Zhao, J. (2024). Review of the Mechanism and Methodology of Water Demand Forecasting in the Socio-Economic System. *Water*, 16(1631), 1-16. https://doi.org/10.3390/w16111631

FAO. (2025, enero 20). Decreto No 1551 - Ley de creación del Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI). https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC003008

Fernández-Cirelli, A. (2018). El agua en Latinoamérica. En E. M. Abraham, R. D. Quintana, & G. Mataloni (Eds.), Agua + Humedales (UNSAM Edita, Vol. 1, pp. 35-45). https://ri.unsam.edu.ar/bitstream/123456789/907/1/PFAH%202018%20CFCA.pdf

Filho, T., Fernando, L., Rabelo, M., Silva, S., Santos, C., Ribeiro, M., Grout, I. A., Moreira, W., & Oliveira-Jr, A. (2021). A Standard-Based Internet of Things Platform and Data Flow Modeling for Smart Environmental Monitoring. *Sensors*, 21(12), 1-22. https://doi.org/10.3390/s21124228

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal,* 12(7), 525-542. https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314

Flores Rendón, C. B. (2019). UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ Análisis del régimen del caudal. https://repositorio.usfq.edu.ec/jspui/bitstream/23000/8312/1/142932.pdf

Fondo para la Protección del Agua (FONAG). (2025, junio 13). Fondo para la Protección del Agua (FONAG): Conservación, restauración y protección de las fuentes de agua para el Distrito Metropolitano de Quito. FONAG. https://www.fonag.org.ec/web/

Frantzeskaki, N. (2019). Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental Science & Policy*, 93, 101-111. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.033

Fu, Z., Ding, X., Guo, Y., Chen, Y., Li, M., Hu, X., Huang, J., Zhao, X., Fu, X., & Fang, Y. (2024). Evaluation and Prediction of Water Resources Carrying Capacity in Dongting Lake Area Based on County Unit and DWM-BP Neural Network Model. *Water*, 16(23), 3480. https://doi.org/10.3390/w16233480

Garces-Alarcon, R. (2022). Diagnostico y propuesta de mejora de agua potable y alcantarillado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Matriz implementando caudalímetros inteligentes IoT [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. https://repositorio.espe.edu.ec/items/446f85a8-562d-41ed-b4bb-71ff019c97c8

Garcia-Rodríguez, L. E., & Gonzalez-Guzman, L. G. (2022). Uso de la tecnología convencional para la reducción de agua de consumo y gases de efecto invernadero a través de la recirculación del agua residual no doméstica:

Piloto Industrial en Colombia. Economía Circular. *Revista Fuentes el Reventón Energético*, 20(2), 75-90. https://doi.org/10.18273/revfue.v20n2-2022007

Geonergía. (2025, enero 20). Transformación y situación actual del sector eléctrico. https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/01/2.-TRANSFORMACION-Y-SITUACION-ACTUAL-DEL-SECTOR-ELECTRICO.pdf?form=MG0AV3

Gortaire, D., Ayabaca, E., Borja, F., & Valarezo, B. (2016). Modelo para el pronóstico de la demanda real de agua potable en Quito. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(2), 39-50. https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.883

Heinze, C., Eyring, V., Friedlingstein, P., Jones, C., Balkanski, Y., Collins, W., Fichefet, T., Gao, S., Hall, A., Ivanova, D., Knorr, W., Knutti, R., Löw, A., Ponater, M., Schultz, M. G., Schulz, M., Siebesma, P., Teixeira, J., Tselioudis, G., & Vancoppenolle, M. (2019). ESD Reviews: Climate feedbacks in the Earth system and prospects for their evaluation. *Earth System Dynamics*, 10(3), 379-452. https://doi.org/10.5194/esd-10-379-2019

Hoffmann, J., Mai, C., Hu, B., & Buettner, R. (2025). A Systematic Literature Review on System Dynamics. IEEE Access, 13, 88871-88887. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3571620

IEOS. (2025, enero 20). Ley de las juntas de administradoras de agua potable y alcantarillado. https://www.ircwash.org/sites/default/files/202.2-92LE-16136.pdf?form=MG0AV3

Imam, E. H., & Elnakar, H. Y. (2014). Design flow factors for sewerage systems in small arid communities. *Journal of Advanced Research*, 5(5), 537-542. https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.06.011

INAMHI. (2026, febrero 26). INAMHI. https://servicios.inamhi.gob.ec/

INEC. (2024). Boletín Técnico N°-01-2024-PROY. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Proyecciones_Poblacionales/censo_2022/revision_2024/Boletin_tecnico_proy_rev2024.pdf

INEC. (2025, octubre). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). INEC. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/

Instituto de Capacitación del Consejo (ICC). (2022, septiembre 25). *Manual de Medición de Caudales*. ICC (Manual disponible en línea). https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2023/03/064.pdf

Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS). (1992). Norma CO 10.07-601: Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposi-

ción de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/norma-co-10-7-602-poblacion-mayor-a-1000-habitantes.pdf

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2015). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf?utm_source=chatgpt.com

Interingeniería. (2025, abril 16). Que es la ingeniería de proyectos. https://interingenieria.com/que-es-la-ingenieria-de-proyectos/

International Association of Plumbing and Mechanical Officials. (2025). *Peak Water Demand Study: Full Study*. https://iapmo.org/media/42ehgafw/peak-water-demand-full-study.pdf

IUCN. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges (E. Cohen-Shacham, G. Walters, C. Janzen, & S. Maginnis, Eds.). *IUCN International Union for Conservation of Nature*. https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en

Jiménez, B., Torregrosa, M. L., & Aboites Aguilar, L. (2010). El agua en Mexico cauces y encauces (CONAGUA, Vol. 1). CONAGUA. https://www.coniunctus.amc.edu.mx/libros/El%20aguaenMexicocaucesyencauces.pdf

Karpf, C., & Krebs, P. (2011). Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach. *Water Research*, 45(10), 3129-3136. https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.03.022

Kishan Chhapola. (2024). Population Forecasting For Water Supply And its Various Methods. https://civilchapola.com/population-forecasting-methods/

Konstantinou, C., Jara-Arriagada, C., & Stoianov, I. (2024). Investigating the Impact of Cumulative Pressure-Induced Stress on Machine Learning Models for Pipe Breaks. *Water Resources Management,* 38(2), 603-619. https://doi.org/10.1007/s11269-023-03687-7

Lane, D. C., Husemann, E., Holland, D., & Khaled, A. (2022). Foodborne transmission of norovirus: mechanism modelling, seasonality and policy implications (2020 System Dynamics Applications Award paper). *System Dynamics Review*, 38(4), 374-397. https://doi.org/10.1002/sdr.1719

Lawrence, J., Giurea, R., & Bettinetti, R. (2024). The Impact of Seasonal Variations in Rainfall and Temperature on the Performance of Wastewater Treatment Plant in the Context of Environmental Protection of Lake

Como, a Tourist Region in Italy. *Applied Sciences*, 14(11721), 1-25. https://doi.org/10.3390/app142411721

Levin, S. B. (2025). Nonstationary flood frequency analysis using regression in the north-central United States. https://doi.org/10.3133/sir20255034

Leyva-Díaz, J. C., Batlles-delaFuente, A., Molina-Moreno, V., Sánchez Molina, J., & Belmonte-Ureña, L. J. (2021). Removal of Pharmaceuticals from Wastewater: Analysis of the Past and Present Global Research Activities. Water, 13(17), 1-24. https://doi.org/10.3390/w13172353

Liu, H., Xing, R., & Davies, E. G. R. (2025). Forecasting municipal water demands: Evaluating the impacts of population growth, climate change, and conservation policies on water end-use. Sustainable Cities and Society, 130(106581), 1-16. https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106581

Lliguin-Naranjo, J. G., & Tinoco-Cuenca, J. E. (2022). Diseño del sistema de agua potable y alcantarillado sanitario, para el barrio el Rosario, parroquia de Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha [Tesis de Ingeniería Civil, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23004/1/UPS%20-%20TTS855.pdf

Luzuriaga Jaramillo, S. I. (2013). *Quito y sus recorridos de agua: abastecimiento, discursos y pautas higiénicas modernizantes* (UASB, Vol. 1). Universidad Andina Simón Bolivar. https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/4016/1/SM143-Luzuriaga-Quito.pdf

Má Villatoro, M. A. (2009). Fundamentos técnicos y legales de una propuesta de métodos alternativos de desinfección del agua potable que consume la población guatemalteca [Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/04/04_7804.pdf

MAATE. (2025a, enero 23). Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. https://www.ambiente.gob.ec/

MAATE. (2025b, enero 27). La ministra Inés María Manzano presentó oficialmente el Primer Atlas de Áreas de Protección Hídrica de Ecuador. https://www.ambiente.gob.ec/la-ministra-ines-maria-manzano-presento-oficialmente-el-primer-atlas-de-areas-de-proteccion-hidrica-de-ecuador/

Maiolo, M., Carini, M., Capano, G., Pantusa, D., & Iusi, M. (2019). Trends in metering potable water. *Water Practice and Technology*, 14(1), 1-9. https://doi.org/10.2166/wpt.2018.120

Merchán-Sanmartín, B., Aguilar-Aguilar, M., Morante-Carballo, F., Ca-

rrión-Mero, P., Guambaña-Palma, J., Mestanza-Solano, D., & Berrezueta, E. (2022). Design of Sewerage System and Wastewater Treatment in a Rural Sector: A Case Study. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 17(1), 51-61. https://doi.org/10.18280/ijsdp.170105

Merizalde Véliz, D. C., Recalde Aguilar, L. M., Maldonado Castro, Á. B., & Moreno Suquilanda, E. A. (2023). Economía social: enfoque socio económico del Ecuador. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2). https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.604

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2020). Normas para la Navegación por el Río Guayas y Seguridad para Maniobras de Ingreso y Salida en el Río Guayas. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-03/Documento_normasparanavegacionporelrioguayasyseguridadparamaniobras.pdf

Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2025, octubre 22). Guía para elaborar términos de referencia para la contratación de una consultoría para la ejecución de estudios de evaluación, diagnóstico y diseños definitivos de sistemas de alcantarillado sanitario en la zona urbana y rural . MAATE. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/05/Alcantarillado-sanitario.pdf

Misati, A., Ogendi, G., Peletz, R., Khush, R., & Kumpel, E. (2017). Can Sanitary Surveys Replace Water Quality Testing? Evidence from Kisii, Kenya. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(2), 152. https://doi.org/10.3390/ijerph14020152

Mokoma, T. J., & Tilahun, S. L. (2022). Water provision planning on the basis of human population growth forecasts: A case study of the City of uMhlathuze, KwaZulu-Natal Province, South Africa. *Water Supply*, 22(9), 7172-7188. https://doi.org/10.2166/ws.2022.290

Munamati, M., Nhapi, I., & Misi, S. N. (2017). Types and distribution of improved sanitation technologies in sub-Saharan Africa. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development,* 7(2), 260-271. https://doi.org/10.2166/washdev.2017.123

Naranjo-Silva, S., Punina-Guerrero, D., Rivera-Gonzalez, L., Escobar-Segovia, K., Barros-Enriquez, J. D., Almeida-Dominguez, J. A., & del Castillo, J. (2023). Hydropower Scenarios in the Face of Climate Change in Ecuador. *Sustainability*, 15(13). https://doi.org/10.3390/su151310160

Narvaez-Terán, D., & Vaca-Lescano, D. (2023). Modelación de régimen permanente y no permanente del agua potable y residual en el campus matriz

de la ESPE con caudalímetros que utiliza la tecnología de internet de las cosas (IoT). https://repositorio.espe.edu.ec/items/430ee5f7-3bc0-4ff1-9127-ae1a30994a90

National Geographic. (2006). Planeta Agua [Video recording]. https://www.dailymotion.com/video/x6ijhno. https://www.dailymotion.com/video/x6ijhno

Naugle, A., Langarudi, S., & Clancy, T. (2024). What is (quantitative) system dynamics modeling? Defining characteristics and the opportunities they create. *System Dynamics Review*, 40(2). https://doi.org/10.1002/sdr.1762

NEC-11. (2011). NEC-11. Norma Hidrosanitaria NHE Agua. https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/nec2011-cap-16-norma-hidrosanitaria-nhe-agua-021412.pdf

Nishmitha, P. S., Akhilghosh, K. A., Aiswriya, V. P., Ramesh, A., Muthuchamy, M., & Muthukumar, A. (2025). Understanding emerging contaminants in water and wastewater: A comprehensive review on detection, impacts, and solutions. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 18, 1-23. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100755

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 52:2013. Reglas para redondear números, INEN (2013). https://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108: Agua potable. Requisitos, Norma técnica 1 (2014). https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%201108%20-%20AGUA%20POTABLE.%20REQUISITOS.pdf

Normas de Diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, AGUA QUITO (2009). https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/PROYECTO%20LA%20MERCED/ANEXO%202%20NORMAS_ALCANTARILLADO_EMAAP.pdf

Normas y especificaciones técnicas para los sistemas de agua potable y alcantarillado, Interagua 1 (2024). https://www.interagua.com.ec/wp-content/uploads/2024/01/NORMAS-Y-ESPECIFICACIONES-TECNICAS-INTERAGUA.pdf

Observatorio para América Latina y el Caribe de Agua y Saneamiento (OLAS). (2024, noviembre 7). OLAS. https://www.olasdata.org/about/us

Odeh, A. M., & Ishaq, I. (2024). Integration of IoT Technologies for Enhanced Monitoring and Control in Hybrid-Powered Desalination Systems: A Sustainable Approach to Freshwater Production. *IoT*, 5(2), 311-331. https://doi.org/10.3390/iot5020016

OMM. (2026, febrero 27). Organización Metereológica Mundial (OMM). WMO. https://wmo.int/es

Ortega-Ballesteros, A., Manzano-Agugliaro, F., & Perea-Moreno, A.-J. (2021). Water Utilities Challenges: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 13(14), 1-21. https://doi.org/10.3390/su13147726

Pacheco-Peña, D., Lema-Quinga, L., & Yánez-Moretta, P. (2023). Water Co-Management between public and commuity actors as a tool for adaptation to global climate change: The case of Santa Clara de San Millán Commune, DM Quito. *Granja*, 37(1), 43-56. https://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.04

Padre, R. J., Baguio, M. A., Panganiban, E. B., Panganiban, R. U., Bautista, C. R., Rigates, J. R. L., & Mariano, A. P. (2023). Risk Analysis of Urban Water Infrastructure Systems in Cauayan City. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(1), 547-558. https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140160

Pancca, O., & Palomino, G. (2022). Remoción del fluoruro en agua potable por precipitación-floculación con policloruro de aluminio y lechada de cal. *Revista Ciencia Agraria*, 1(2), 7-16. https://doi.org/10.35622/j.rca.2022.02.001

PBPLaw. (2025, mayo 19). Ecuador establece nueva estructura para la gestión hídrica nacional. Perez Bustamante y Ponce. https://www.pbplaw.com/es/publicaciones/ecuador-establece-nueva-estructura-para-la-gestion-hidrica-nacional-9-demarcaciones-y-38-unidades-locales/

Pérez-Carmona, R. (2018). *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones* (ECOE EDICIONES, Ed.; Sexta, Vol. 1).

Perplexity AI. (2025, agosto 14). Esquema detallado de componentes de una planta de tratamiento de aguas residuales [Diagrama]. Perplexity AI. https://www.perplexity.ai/search/me-puedes-pasar-una-imagen-exp-OcgPMQiMR1aL.8IP2fb_Mg

Perplexity AI. (2025a, agosto 14). Imagen 3D detallando los elementos de un drenaje sanitario. Perplexity AI. https://www.perplexity.ai/search/me-puedes-pasar-una-imagen-en-UJwjD3MuQmC1rAdRlnIz0Q

Perplexity AI. (2025b, septiembre 25). Sistema de drenaje industrial 3D en población urbana. Perplexity AI. https://user-gen-media-assets.s3.amazonaws.com/seedream_images/2ba1af7a-83fc-4324-bf55-44fab7edb864.png

Perplexity AI. (2025c, octubre 5). Manómetro casero para medir presión de

agua en tuberías. Perplexity. https://user-gen-media-assets.s3.amazonaws.com/seedream_images/6e322a84-7dad-4055-84be-7e5b74fe8810.png

Pilcher, R. (2003). Leak Detection Practices and Techniques: A Practical Approach. *Water21*, 1(1), 44-45. https://www.scribd.com/document/460121740/Leak-Detection-Practices-and-Techniques-A-Practical-Approach

Plastigama Wavin. (2026, marzo 3). Platigama Wavin. Plastigama Wavin. https://bim.plastigama.com/

Portal de Compras Públicas. (2025, abril 25). Modulo facilitador de la contratación pública. https://portal.compraspublicas.gob.ec/sercop/modulo-facilitador-de-compra-publica/

Pourrut, P. (1995). *El agua en el Ecuador Clima, precipitaciones y escorrentía* (Vol. 1). Corporación Editora Nacional : Colegio de Geógrafos del Ecuador. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010014823.pdf

Prefectura de Pichincha. (2025, febrero 20). Ríos. https://www.pichincha.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=99&Itemid=85

Primicias. (2025, enero 20). Si Ecuador construyó 14 hidroeléctricas en una década, ¿por qué ahora vive cortes de luz masivos? https://www.primicias.ec/economia/cortes-luz-crisis-ecuador-hidroelectricas-apagones-79647/

Rao, N., Patil, S., Singh, C., & Roy, P. (2023). Urban and peri-urban agriculture for sustainability and wellbeing: A response. *Sustainable Cities and Society*, 92(104462), 1-4. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104462

Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009, *Legislation 330*, 1 (2017). https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0

Revelo, R. (2025). ¿Cómo queda la fusión y nombre final de los ministerios de Ambiente y de Energía? *Primicias*, 1-2. https://www.primicias.ec/politica/ministerio-ambiente-energia-fusion-decreto94-ecuador-plan-eficiencia-102993/

Río del Planeta. (2025, abril 15). *Río Tomebamba: Todo lo que necesita conocer sobre él*. riosdelplaneta.com/rio-tomebamba/

Rosero-Armijo, C. D. (2019). Agua potable no contabilizada en el can-

tón Pangua y programa de control de pérdidas [Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e807a6ed-154d-448b-ba43-9d5dabb9bf0c/content

Rossman, L. (2000). EPANET 2 USERS MANUAL. EPA. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1007WWU.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C00thru05%5CTxt%5C00000024%5CP1007WWU.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL

Ryu, Y. min, & Lee, E. H. (2024). Optimal Design of Water Distribution System Using Improved Life Cycle Energy Analysis: Development of Optimal Improvement Period and Unit Energy Formula. *Water*, 16(22), 1-20. https://doi.org/10.3390/w16223300

Saldarriaga, J. G., Ochoa, S., Rodriguez, D., & Arbeláez, J. (2009). Water Distribution Network Skeletonization Using the Resilience Concept. *Water Distribution Systems Analysis 2008*, 1-13. https://doi.org/10.1061/41024(340)74

San Diego County Water Authority. (2025, junio 23). *Seawater Desalination. SDCWA*. https://www.sdcwa.org/your-water/local-water-supplies/seawater-desalination/

Sandoval Erazo, W. R., & Aguilera Ortiz, E. P. (2014). Determinación de caudales en cuencas con poca información hidrológica. *Revista Ciencia UNEMI*, 7(12), 100-110. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582663859012

Sandoval-Erazo, W. R. (2013). *Principios de la Hidráulica 2* (EDIESPE, Ed.; 2.a ed., Vol. 1). https://www.researchgate.net/profile/Washington-Sandoval-Erazo/publication/341165763_Principios_de_la_Hidraulica_2/links/5eb20584a6fdcc7050ad5a89/Principios-de-la-Hidraulica-2.pdf

Sandoval-Erazo, W., Toulkeridis, T., Rodríguez-Espinosa, F., & Mora, M. J. M. (2018). Velocity and time of concentration of a basin – A renewed approach applied in the Rio Grande Basin, Ecuador. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 191, 012117. https://doi.org/10.1088/1755-

1315/191/1/012117

Sborz, J., Kalbusch, A., & Henning, E. (2024). Factors that determine hot and cold-water consumption in social housing apartments. *Architectural Engineering and Design Management*, 20(6), 1669-1686. https://doi.org/10.1080/17452007.2024.2436941

Schilperoort, R. P. S. (2011). Monitoring as a tool for the assessment of wastewater quality dynamics [PhD Thesis, Delft University of Technology]. https://repository.tudelft.nl/record/uuid:74d9e8b4-5d71-4eaf-82da-fece9e9eba56

Secretaria del Agua. (1992). Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. https://doi.org/10.07

SENAGUA. (2025, enero 23). Secretaria del Agua. https://www.empresaagua.gob.ec/#

Serinaldi, F., & Kilsby, C. G. (2015). Stationarity is undead: Uncertainty dominates the distribution of extremes. *Advances in Water Resources*, 77, 17-36. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.12.013

SEWERIN. (2025, octubre 21). AquaTest T10 | Sewerin. SEWERIN. https://www.sewerin.com/es/productos/agua/deteccion-acustica-de-fugas-de-agua/aquatest-t10/

Si Se puede Ecuador. (2025, abril 15). Cuenca La Atenas del Ecuador. www.sisepuedeecuador.com/cuenca-ecuador-la-atenas-del-ecuador/

Singh, A. K., Kaur, R., Verma, S., & Singh, S. (2022). Antimicrobials and Antibiotic Resistance Genes in Water Bodies: Pollution, Risk, and Control. *Frontiers in Environmental Science*, 10(1), 1-13. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.830861

Skolubovich, Y., Voitov, E., Tsyba, A., Balchugov, D., & Belonogov, D. (2020). Treatment and disposal of surface wastewater and Sludge. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 953(1), 1-8. https://doi.org/10.1088/1757-899X/953/1/012020

Soares Ascenção, É., Melo Marinangelo, F., Meschini Almeida, C. F., Kagan, N., & Dias, E. M. (2023). Applications of Smart Water Management Systems: A Literature Review. *Water,* 15(19), 1-16. https://doi.org/10.3390/w15193492

Solís, B. (2023). Aguas subterráneas en América Latina y el Caribe: políticas y experiencias para la gestión y conservación de los acuíferos. https://doi.org/10.18235/0004871

Solís Sosa, B. (2023). Aguas subterráneas en América Latina y el Caribe: políticas y experiencias para la gestión y conservación de los acuíferos (Vol. 1). https://publications.iadb.org/es/aguas-subterraneas-en-america-latina-y-el-caribe-politicas-y-experiencias-para-la-gestion-y

Sterman, J. D. (1989). Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment. Management Science, 35(3), 321-339. https://doi.org/10.1287/mnsc.35.3.321

Stine, A. R., & Huybers, P. (2012). Changes in the Seasonal Cycle of Temperature and Atmospheric Circulation. *Journal of Climate*, 25(21), 7362-7380. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00470.1

Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento, E. (1992). Norma CO 10.7 – 602: Diseño de sistemas de agua potable y saneamiento en áreas rurales. https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/norma-co-10-7-602-area-rural.pdf

Sweetapple, C., Fu, G., Farmani, R., & Butler, D. (2019). Exploring wastewater system performance under future threats: Does enhancing resilience increase sustainability? *Water Research,* 149, 448-459. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.025

Tan, M., Zhang, S., Dong, J., Huang, J., Wu, X., Tang, X., & Wu, D. (2023). Removal performance and mechanism for a three-dimensional electrode system treating biochemical effluent of a wastewater treatment plant. *Water Science & Technology*, 87(5), 1159-1173. https://doi.org/10.2166/wst.2023.041

Tchobanoglous George, Burton Franklin, & Stensel David. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (McGraw-Hill). https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TCHOBANOGLOUS%20et%20al.%202003%20Wastewater%20Engineering.pdf

Tchórzewska-Cieślak, B., Szpak, D., Żywiec, J., & Rożnowski, M. (2024). The concept of estimating the risk of water losses in the water supply network. *Journal of Environmental Management*, 359(120965), 1-11. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120965

Teegavarapu, R. S. V., & Chandramouli, V. (2005). Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. *Journal of Hydrology,* 312(1-4), 191-206. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.02.015

Tesfamariam, A. T., Heiderscheidt, E., Sunela, M., Pitkänen, A., Rantala, L., & Rossi, P. M. (2024). The estimation of infiltration and inflow in a

sewage network by combining continuous monitoring of hydrological parameters, flow and temperature with stable isotopes of oxygen and hydrogen. *Water Research*, 255, 121505. https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121505

Tomić, S., Najafi, N., Ripley, H., Huang, M., & Skeens, B. (2024). Defining Regional Water Distribution System Models. *Journal AWWA*, 116(6), 6-16. https://doi.org/10.1002/awwa.2295

UNESCO. (1985). Guide for planning educational facilities. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000018885

UNFPA. (2018). El estado de la población mundial 2018: El poder de elegir. Los derechos reproductivos y la transición demográfica (UNFPA, Ed.; UNFPA, Vol. 1). https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/UNFPA_PUB_2018_ES_SWP_Estado_de_la_Poblacion_Mundial.pdf

U.S. Environmental Protection Agency. (2004). *Wastewater Collection Systems Manual*. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.EXE?ZyActionL=Register&User=anonymous&Password=anonymous&Client=EPA&Init=1

Valdezate-Arranz, M., & García Calvo, E. (2020). BINOMIO AGUA-ENERGÍA: ENERGÍA PARA EL AGUA. ANALÍSIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL CICLO DEL AGUA WATER-ENERGY NEXUS: ENERGY FOR WATER. ANALYSIS OF THE ENERGY CONSUMPTION IN THE WATER CYCLE IN SPAIN. https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/45455/TFM_Valdezate_Arranz_2020.pdf?sequence=1

Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., & Morgan, R. P. (2005). The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. J*ournal of the North American Benthological Society*, 24(3), 706-723. https://doi.org/10.1899/04-028.1

Walski, T. M., Chase, D. V, Savic, D. A., Grayman, W., Beckwith, S., Walski, T. M. ;, Chase, D. V. ;, Savic, D. A. ;, Grayman, W. ;, Beckwith, S. ;, & Koelle, E. (2003). *Advanced Water Distribution Modeling and Management.* http://ecommons.udayton.edu/cee_fac_pubhttp://ecommons.udayton.edu/cee_fac_pub/18

Wang, L. K., Sung Wang, M.-H., Hung, Y.-T., & Shammas, N. K. (2016). Natural Resources and Control Processes (L. K. Wang, M.-H. S. Wang, Y.-T. Hung, & N. K. Shammas, Eds.; Vol. 12). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26800-2

Wang, S., & Wang, H. (2018). Extending the Rational Method for assessing and developing sustainable urban drainage systems. *Water Research*, 144, 112-

125. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.022

Water Environment Federation American Society of Civil Engineers. (1992). Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems. American Society of Civil Engineers and Water Environment Federation. https://doi.org/10.1061/9780872628557

Whittington, D., Davis, J., Prokopy, L., Komives, K., Thorsten, R., Lukacs, H., Bakalian, A., & Wakeman, W. (2009). How well is the demand-driven, community management model for rural water supply systems doing? Evidence from Bolivia, Peru and Ghana. *Water Policy*, 11(6), 696-718. https://doi.org/10.2166/wp.2009.310

Wikimedia Commons contributors. (2026a). Open system and closed system. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Open_system_and_closed_system.svg

Wikimedia Commons contributors. (2026b, enero 12). Open system and closed system. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Open_system_and_closed_system.svg

Wikimedia Commons contributors. (2026c, enero 13). *Positive and negative feedback mechanisms.* https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Climate_feedbacks

World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality*: fourth edition incorporating the first and second addenda (WHO, Ed.; Vol. 1). https://www-who-int.translate.goog/publications/i/item/9789240045064?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Yu, R., & Wang, R. (2024). Learning dynamical systems from data: An introduction to physics-guided deep learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 121(27). https://doi.org/10.1073/pnas.2311808121

Yuval Noah Harari. (2014). Sapiens de animales a dioses (Joandomènec Ros i Aragonès, Ed.; *DEBATE,* Vol. 1). https://books.google.com.ec/books/about/Sapiens_De_animales_a_dioses.html?id=qmj7AwAAQBAJ&redir_esc=y

Zekri, S., Jabeur, N., & Gharrad, H. (2022). Smart Water Management Using Intelligent Digital Twins. *Computing and Informatics,* 41(1), 135-153. https://doi.org/10.31577/cai_2022_1_135

Zhou, Q. (2014). A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. *Water*, 6(4), 976-992. https://doi.org/10.3390/w6040976

Zhou, Q., Mikkelsen, P. S., Halsnæs, K., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2012). Framework for economic pluvial flood risk assessment considering climate change effects and adaptation benefits. *Journal of Hydrology,* 414-415, 539-549. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.031

Agua potable y alcantarillado sanitario y pluvial

Modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente, IoT, inteligencia artificial y soluciones basadas en la naturaleza en Ecuador

El acceso al agua potable y al saneamiento constituye uno de los mayores desafíos para el desarrollo de las sociedades en un contexto marcado por el crecimiento urbano, las transformaciones demográficas, la presión sobre los recursos hídricos y los efectos del cambio climático. Frente a esta realidad, la ingeniería requiere integrar conocimientos científicos, criterios normativos y herramientas tecnológicas que permitan planificar y diseñar infraestructuras hidráulicas eficientes, seguras y sostenibles.

Esta obra presenta una visión integral de la ingeniería del agua, desde sus fundamentos conceptuales, históricos y ambientales hasta los procedimientos técnicos para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, alcantarillado sanitario y drenaje pluvial. A través de sus capítulos, se examinan las características y la calidad del recurso hídrico, los componentes de los sistemas hidráulicos, la normativa aplicable y los parámetros fundamentales de diseño, con especial atención a las condiciones del Ecuador y su relación con experiencias y criterios internacionales.

El libro desarrolla metodologías para estimar la población futura, determinar dotaciones y calcular caudales de diseño, incorporando enfoques de modelación dinámica y el análisis de consumos reales. Asimismo, aborda la representación y modelación hidráulica de redes de distribución, la estimación de caudales de aguas residuales y el análisis hidrológico de las precipitaciones y escorrentías para el dimensionamiento del drenaje pluvial.

Un aspecto distintivo de la publicación es la articulación entre los fundamentos teóricos y su aplicación práctica mediante ejercicios resueltos, procedimientos de cálculo, ejemplos contextualizados y herramientas informáticas de simulación hidráulica e hidrológica. Se incorporan, además, perspectivas contemporáneas relacionadas con el monitoreo mediante sensores IoT, la gestión eficiente del agua y las soluciones basadas en la naturaleza para el manejo de la escorrentía.

Dirigida a estudiantes, docentes, investigadores y profesionales de la ingeniería civil, ambiental e hidrosanitaria, esta obra constituye un recurso de consulta y aprendizaje que busca fortalecer el razonamiento técnico, la capacidad de análisis y la toma de decisiones en proyectos de infraestructura hídrica, contribuyendo a una gestión del agua fundamentada en la evidencia científica, la eficiencia económica y la sostenibilidad ambiental.

David Vinicio Carrera V.

ISBN: 978-9942-652-66-9

9 789942 652669

Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción