

Trabajo Fin de Máster

MODELO MATEMÁTICO, ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO NACIONAL, SANTO DOMINGO (REPÚBLICA DOMINICANA).

Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA*

Autor:

GUZMÁN BÁEZ, OLIVER ANTONIO

Tutor:

DR. MARTINEZ SOLANO, FRANCISCO JAVIER

Febrero, 2020



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Agradecimientos

Agradezco a todos los maestros del Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, siempre prestos a colaborar con sus alumnos, y muy especialmente a mi tutor el Doctor Francisco Javier Martínez Solano por su disponibilidad y valiosa asesoría.

A mi familia, que se mantienen siempre al pendiente de mi y que, sin dudarlo, me han brindado todo el apoyo que he necesitado, no sólo en esta etapa de mi vida, desde siempre. Muchas gracias Olga y Vicente, padres excepcionales, de los que me siento muy orgulloso. Muchas gracias Yamel, Giselle y Vicente, hermanos que me guían y me impulsan a cada día superarme.

A mis compañeros de estudio, que hemos acumulado bonitas experiencias y hemos colaborado mutuamente para llegar hasta aquí. A mis amigos, que saben son como hermanos para mi y, a pesar de la distancia, su apoyo es incondicional. Finalmente, agradecer a todo el que, de una forma u otra, ha aportado para que esta meta sea cumplida.

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto
Título del TFM en español: Modelo Matemático, Análisis Y Propuestas De Mejora Para La Red De Distribución De Agua Potable Del Distrito Nacional, Santo Domingo (República Dominicana).
Título del TFM en inglés: Mathematical Model, Analysis And Improvement Proposals For The Drinking Water Distribution Network Of The National District (Santo Domingo, Dominican Republic).
Título del TFM en Valenciano: Model Matemàtic, Anàlisi I Propostes De Millora Per A La Xarxa De Distribució D'aigua Potable Del Districte Nacional, Sant Diumenge (República Dominicana).
Alumno: Oliver Antonio Guzmán Báez
Tutor: Dr. Francisco Javier Martínez Solano
Fecha de Lectura: Febrero, 2020

Resumen
En español (máximo 5000 caracteres)
<p>Para poder analizar y predecir, de manera efectiva, el funcionamiento de una red de distribución de agua potable, donde se combinan e interactúan tuberías, depósitos y elementos de regulación, es necesario realizar un modelo matemático que nos simplifique los procesos de cálculo.</p> <p>El proyecto incorpora tres fases claramente diferenciadas: elaboración del modelo matemático, diagnóstico del funcionamiento actual de la red de distribución y propuesta de mejoras.</p> <p>La primera fase comienza con la realización del modelo matemático de la red de distribución del Distrito Nacional en Santo Domingo, capital y centro económico de la República Dominicana. Es un gran desafío la confección de dicho modelo debido a la gran incertidumbre de los datos disponibles. Para ello, se deben estimar los consumos de acuerdo a la densidad de población por barrios, y el volumen inyectado a red se debe asumir de acuerdo a la capacidad de producción de las fuentes de agua identificadas (5 estaciones de tratamiento). El volumen de agua no registrada se ajustará utilizando el concepto de caudales dependientes de la presión mediante el uso de emisores. Con ello, se procederá al ajuste del porcentaje de agua no registrada (en torno al 60% del caudal inyectado). Por último, se deben asumir patrones de consumo aproximados, de acuerdo a poblaciones con estructura y comportamientos similares.</p> <p>Posteriormente, con el modelo ya realizado, se procede con el análisis detallado de la situación actual del sistema. Este análisis conducirá a un diagnóstico de la red de distribución, el cual se comparará con la información disponible para garantizar la credibilidad del modelo.</p>

Finalmente, a partir de las carencias detectadas en el modelo, se realizan propuestas de mejora orientadas a conseguir un mejor comportamiento de la red tanto en términos de presión disponible para los consumidores como de reducción de las fugas existentes.

En valenciano (máximo 5000 caracteres)

Per poder analitzar i predir, de manera efectiva, el funcionament d'una xarxa de distribució d'aigua potable, on es combinen i interactuen canonades, dipòsits i elements de regulació, cal fer un model matemàtic que ens simplifiqui els processos de càlcul.

El projecte incorpora tres fases clarament diferenciades: elaboració d'el model matemàtic, diagnòstic de l'funcionament actual de la xarxa de distribució i proposta de millores.

La primera fase comença amb la realització de el model matemàtic de la xarxa de distribució de Districte Nacional a Santo Domingo, capital i centre econòmic de la República Dominicana. És un gran desafiament la confecció d'aquest model causa de la gran incertesa de les dades disponibles. Per a això, s'han d'estimar els consums d'acord a la densitat de població per barris, i el volum injectat a xarxa s'ha d'assumir d'acord a la capacitat de producció de les fonts d'aigua identificades (5 estacions de tractament). El volum d'aigua no registrada s'ajustarà utilitzant el concepte de cabals dependents de la pressió mitjançant l'ús d'emissors. Amb això, es procedirà a l'ajust de l'percentatge d'aigua no registrada (al voltant de l'60% de l'cabal injectat). Finalment, s'han d'assumir patrons de consum aproximats, d'acord a poblacions amb estructura i comportaments similars.

Posteriorment, amb el model ja realitzat, es procedeix amb l'anàlisi detallada de la situació actual de sistema. Aquesta anàlisi conduirà a un diagnòstic de la xarxa de distribució, el qual es compararà amb la informació disponible per a garantir la credibilitat de el model.

Finalment, a partir de les mancances detectades en el model, es realitzen propostes de millora orientades a aconseguir un millor comportament de la xarxa tant en termes de pressió disponible per als consumidors com de reducció de les fuites existents.

En inglés (máximo 5000 caracteres)

To be able to analyze and predict, in an effective way, the operation of a distribution network of drinking water, where pipes, tanks and regulation elements are combined and interact, it is necessary to make a mathematical model that simplifies the calculation processes.

The project incorporates three clearly differentiated phases: elaboration of the mathematical model, diagnosis of the current operation of the distribution network and proposal of improvements.

The first phase begins with the realization of the mathematical model of the distribution network of the National District in Santo Domingo, capital and economic center of the



Dominican Republic. The preparation of this model is a great challenge due to the great uncertainty of the available data. For it, consumption should be estimated according to population density by neighborhood, and the volume injected into the network should be assumed according to the production capacity of the identified water sources (5 treatment stations). The volume of unregistered water will be adjusted using the concept of pressure dependent flow rates through the use of emitters. With this, the percentage of unregistered water will be adjusted (around 60% of the injected flow). Finally, approximate consumption patterns should be assumed, according to populations with similar structure and behaviors.

Subsequently, with the model already made, we proceed with a detailed analysis of the current situation of the system. This analysis will lead to a diagnosis of the distribution network, which will be compared with the information available to guarantee the credibility of the model.

Finally, based on the deficiencies detected in the model, improvement proposals are made aimed at achieving better network behavior both in terms of the pressure available to consumers and the reduction of existing leaks.

Palabras clave español (máximo 5): Abastecimiento de agua, Análisis, Planificación

Palabras clave valenciano (máximo 5): Abastament d'aigua, Anàlisi, Planificació

Palabras clave inglés (máximo 5): Water supply, Analysis, Planning

Tabla de Contenidos

TABLA DE CONTENIDOS	VI
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
1 MARCO CONCEPTUAL	1-1
1.1 ANTECEDENTES.....	1-1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	1-2
1.3 OBJETIVOS.....	1-2
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	1-2
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	1-3
1.4 ALCANCES DEL PROYECTO.....	1-3
1.5 LIMITACIONES.....	1-3
2 MARCO TEÓRICO	2-6
2.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	2-6
2.1.1 <i>Localización del Distrito Nacional</i>	2-6
2.1.2 <i>Características del Distrito Nacional</i>	2-7
2.1.2.1 Polígono Central.....	2-9
2.1.2.2 Clima.....	2-9
2.1.2.3 Recursos Hídricos.....	2-9
2.1.2.4 Altimetría.....	2-10
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN.....	2-10
2.2.1 <i>Reparto de la Población en el Territorio</i>	2-10
2.2.2 <i>Nivel Socioeconómico</i>	2-12
2.3 MARCO INSTITUCIONAL Y JURÍDICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA.....	2-14
2.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO NACIONAL.....	2-15
2.4.1 <i>Principales Fuentes de Abastecimiento</i>	2-15
2.4.1.1 Cuenca Río Nizao.....	2-16
2.4.1.1.1 Estación de Tratamiento de Agua Potable de Valdesia.....	2-16
2.4.1.2 Cuenca Río Haina.....	2-16
2.4.1.2.1 Estación de Tratamiento de Agua Potable Haina – Manoguayabo.....	2-16
2.4.1.2.2 Estación de Tratamiento de Agua Potable Duey - Guanarito.....	2-16
2.4.1.2.3 Estación de Tratamiento de Agua Potable Isa – Mana.....	2-17
2.4.1.3 Cuenca Ozama.....	2-17
2.4.1.3.1 Estación de Tratamiento de Agua Potable Isabela.....	2-17
2.4.2 <i>Resumen Estaciones de Tratamiento de Agua Potable</i>	2-17
2.4.3 <i>Depósitos de Almacenamiento de Agua</i>	2-18
2.4.4 <i>Composición de la Red</i>	2-18
2.4.4.1 Diámetros.....	2-19
2.4.4.2 Materiales.....	2-19
2.4.5 <i>Esquema del Sistema</i>	2-21
3 MARCO METODOLÓGICO	3-24
3.1 INTRODUCCIÓN.....	3-24
3.2 ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	3-25
3.2.1 <i>Balance Hídrico del Sistema</i>	3-25
3.2.2 <i>Inyección de Agua a la Red</i>	3-27
3.3 CREACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA RED.....	3-28
3.3.1 <i>Inicio de la Confeción del Modelo</i>	3-28
3.3.2 <i>Esquema de Producción</i>	3-28
3.3.3 <i>Resumen del Modelo</i>	3-29
3.4 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA.....	3-30
3.4.1 <i>Dotación</i>	3-30

3.4.2	<i>Demandas</i>	3-30
3.4.2.1	Demanda Residencial	3-30
3.4.2.1.1	Demanda Residencial Externa.....	3-30
3.4.2.1.2	Demanda Residencial del Distrito Nacional	3-31
3.4.2.2	Demanda Hoteles	3-33
3.4.2.3	Demanda Hospitales.....	3-33
3.4.2.4	Demanda Industrial	3-34
3.4.2.5	Demanda Institucional.....	3-34
3.4.2.6	Resumen de Demandas (2010).....	3-35
3.4.2.7	Estimación de Demandas Actuales, en Base a Proyecciones para 2020.....	3-35
3.4.3	<i>Asignación de la Demanda a Nudos</i>	3-35
3.5	ESTIMACIÓN DEL CAUDAL INCONTROLADO O FUGADO	3-38
3.6	MODULACIÓN DE LA DEMANDA.....	3-39
3.7	FINALIZACIÓN DEL MODELO	3-39
4	ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICOS	4-42
4.1	CAUDALES MÁXIMOS.....	4-42
4.2	ANÁLISIS DE PRESIONES.....	4-42
4.2.1	<i>Presiones Mínimas</i>	4-43
4.2.2	<i>Presiones Máximas</i>	4-44
4.3	ANÁLISIS DE VELOCIDADES.....	4-45
4.4	PÉRDIDAS DE CARGA UNITARIA.....	4-45
4.5	DIAGNÓSTICO GENERAL	4-47
4.5.1	<i>Excesos de Presión</i>	4-47
4.5.2	<i>Insuficiencias en el Suministro</i>	4-48
5	ACTUACIONES PROPUESTAS	5-56
5.1	ACTUACIONES INMEDIATAS.....	5-56
5.1.1	<i>División del Territorio Abastecido en Sectores</i>	5-56
5.1.2	<i>Colocación de Válvulas Reductoras de Presión</i>	5-58
5.1.3	<i>Cierre de Tuberías</i>	5-60
5.1.4	<i>Programación de los Horarios de Servicio</i>	5-62
5.2	ACTUACIONES A FUTURO.....	5-64
5.3	RESULTADOS FINALES	5-66
5.3.1	<i>Presiones Máximas</i>	5-66
5.3.2	<i>Presiones Mínimas</i>	5-67
5.4	VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS ACTUACIONES	5-67
5.4.1	<i>Válvulas Reductoras de Presión</i>	5-67
5.4.2	<i>Reemplazo de Tuberías</i>	5-68
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	6-70
7	SIGLAS, ABREVIATURAS Y GLOSARIO DE TÉRMINOS	7-72
7.1	SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	7-72
7.2	GLOSARIO DE TÉRMINOS	7-73
8	BIBLIOGRAFÍA	8-76
9	ANEXOS	9-78
9.1	ESQUEMA DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.....	9-78
9.2	VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS ACTUACIONES	9-80
9.2.1	<i>Análisis Unitario</i>	9-80
9.2.2	<i>Presupuesto</i>	9-82

Lista de Tablas

TABLA I: POBLACIÓN Y DENSIDAD POR BARRIO (CIRCUNSCRIPCIÓN 1). ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE (ONE, 2012).	2-11
TABLA II: POBLACIÓN Y DENSIDAD POR BARRIO (CIRCUNSCRIPCIÓN 2). ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE (ONE, 2012).	2-11
TABLA III: POBLACIÓN Y DENSIDAD POR BARRIO (CIRCUNSCRIPCIÓN 3). ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE (ONE, 2012).	2-12
TABLA IV: ESTACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CON INCIDENCIA EN EL SUMINISTRO DEL DISTRITO NACIONAL. ELABORACIÓN PROPIA.	2-17
TABLA V: DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO DE AGUA (GARCÍA, 2014).	2-18
TABLA VI: LONGITUD DE RED, SEGÚN DIÁMETROS. ELABORACIÓN PROPIA.	2-19
TABLA VII: LONGITUD DE RED, SEGÚN MATERIALES. ELABORACIÓN PROPIA.	2-20
TABLA VIII: CLASIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DE UN ABASTECIMIENTO EN FUNCIÓN DE N_s (CABRERA ET AL., 1999).	3-26
TABLA IX: CAUDALES INYECTADOS A LA RED. ELABORACIÓN PROPIA.	3-27
TABLA X: APROXIMACIÓN DE CONSUMO POR HABITANTE (2010). ELABORACIÓN PROPIA.	3-27
TABLA XI: RESUMEN DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA RED. ELABORACIÓN PROPIA.	3-29
TABLA XII: DOTACIÓN SEGÚN TIPO DE PROYECTO (INAPA, 2018).	3-30
TABLA XIII: DEMANDA RESIDENCIAL EXTERNA. ELABORACIÓN PROPIA.	3-31
TABLA XIV: DEMANDA RESIDENCIAL, CIRCUNSCRIPCIÓN 1. ELABORACIÓN PROPIA.	3-31
TABLA XV: DEMANDA RESIDENCIAL, CIRCUNSCRIPCIÓN 2. ELABORACIÓN PROPIA.	3-32
TABLA XVI: DEMANDA RESIDENCIAL, CIRCUNSCRIPCIÓN 3. ELABORACIÓN PROPIA.	3-32
TABLA XVII: DEMANDA HOTELES. ELABORACIÓN PROPIA.	3-33
TABLA XVIII: DEMANDA HOSPITALES. ELABORACIÓN PROPIA.	3-33
TABLA XIX: DEMANDA INDUSTRIAL. ELABORACIÓN PROPIA.	3-34
TABLA XX: DEMANDA INSTITUCIONAL. ELABORACIÓN PROPIA.	3-34
TABLA XXI: RESUMEN DE DEMANDAS (2010). ELABORACIÓN PROPIA.	3-35
TABLA XXII: ESTIMACIÓN DE DEMANDAS (2020). ELABORACIÓN PROPIA.	3-35
TABLA XXIII: ASIGNACIÓN DE DEMANDAS A NUDOS. ELABORACIÓN PROPIA.	3-36
TABLA XXIV: CÁLCULO DE COEFICIENTES EMISORES. ELABORACIÓN PROPIA.	3-38
TABLA XXV: COEFICIENTES DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO (GARZÓN & ORTIZ, 2014).	3-39
TABLA XXVI: VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN. ELABORACIÓN PROPIA.	5-60
TABLA XXVII: PATRONES DE CONSUMO PARA LOS DISTINTOS SECTORES. ELABORACIÓN PROPIA.	5-62
TABLA XXVIII: EJEMPLO DE REAJUSTE DE PATRÓN DE CONSUMO POR CORTE EN EL SUMINISTRO. ELABORACIÓN PROPIA.	5-62
TABLA XXIX: HORARIOS DE SUMINISTRO. ELABORACIÓN PROPIA.	5-63
TABLA XXX: REAJUSTE DEL NIVEL INICIAL EN LOS DEPÓSITOS. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE (GARCÍA, 2014).	5-63
TABLA XXXI: LONGITUD DE TUBERÍAS SUSTITUIDAS POR BARRIOS. ELABORACIÓN PROPIA.	5-65
TABLA XXXII: COSTO DEL SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE LAS VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN. ELABORACIÓN PROPIA.	5-67
TABLA XXXIII: COSTO DEL SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS. ELABORACIÓN PROPIA.	5-68

Lista de Figuras

FIGURA I: LOCALIZACIÓN DE LA REPÚBLICA DOMINICANA. ELABORACIÓN PROPIA.....	2-6
FIGURA II: PLANO GENERAL DEL DISTRITO NACIONAL (ADN, 2019).	2-7
FIGURA III: DIVISIÓN TERRITORIAL DEL DISTRITO NACIONAL (ADN, 2019).....	2-8
FIGURA IV: BARRIOS QUE CONFORMAN EL POLÍGONO CENTRAL (ADN, 2019).	2-9
FIGURA V: MAPA DE ALTITUD DEL DISTRITO NACIONAL (TOPOGRAPHIC-MAP, 2019).	2-10
FIGURA VI: MAYORES CARENCIAS EN EL DISTRITO NACIONAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	2-13
FIGURA VII: DISTRIBUCIÓN DE HOGARES POBRES (MORILLO, 2014).....	2-13
FIGURA VIII: PRODUCCIÓN ESTACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CON INCIDENCIA EN EL SUMINISTRO DEL DISTRITO NACIONAL. ELABORACIÓN PROPIA.	2-18
FIGURA IX: DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS. ELABORACIÓN PROPIA.	2-19
FIGURA X: DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES. ELABORACIÓN PROPIA.	2-20
FIGURA XI: FASES DE ELABORACIÓN DEL MODELO. ELABORACIÓN PROPIA.	3-24
FIGURA XII: DEFINICIÓN DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA (IWA, 2018).....	3-26
FIGURA XIII: ESQUEMA DE PRODUCCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO NACIONAL. ELABORACIÓN PROPIA.	3-28
FIGURA XIV: ESTRUCTURA DE LA RED. ELABORACIÓN PROPIA.	3-29
FIGURA XV: NUDOS EN BARRIO LOS CACICAZGOS. ELABORACIÓN PROPIA.	3-36
FIGURA XVI: PERFIL DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO (GARZÓN & ORTIZ, 2014).....	3-39
FIGURA XVII: ERRORES EN EL MODELO. ELABORACIÓN PROPIA.	3-40
FIGURA XVIII: CAUDALES MÁXIMOS EN LA RED. ELABORACIÓN PROPIA.	4-42
FIGURA XIX: PRESIONES MÍNIMAS. ELABORACIÓN PROPIA.	4-43
FIGURA XX: PRESIONES MÁXIMAS. ELABORACIÓN PROPIA.	4-44
FIGURA XXI: DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES MÁXIMAS EN LA RED. ELABORACIÓN PROPIA.....	4-45
FIGURA XXII: DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDA UNITARIA EN HORA DE MÁXIMA DEMANDA. ELABORACIÓN PROPIA.....	4-45
FIGURA XXIII: PÉRDIDAS DE CARGA EN LA RED. ELABORACIÓN PROPIA.	4-46
FIGURA XXIV: PERFIL LONGITUDINAL SOBRE LA AV. ABRAHAM LINCOLN, DESDE LA AV. SARASOTA HASTA EL MALECÓN DE SANTO DOMINGO. ELABORACIÓN PROPIA.	4-47
FIGURA XXV: REPRESENTACIÓN DE COTAS EN LA ZONA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA.	4-48
FIGURA XXVI: BALANCE DE CAUDALES. ELABORACIÓN PROPIA.....	4-48
FIGURA XXVII: DEPÓSITO D5, EVARISTO MORALES. ELABORACIÓN PROPIA.....	4-49
FIGURA XXVIII: EVOLUCIÓN DE LA PRESIÓN EN EL DEPÓSITO D5 (EVARISTO MORALES). ELABORACIÓN PROPIA.	4-49
FIGURA XXIX: DENSIDAD POBLACIONAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	4-50
FIGURA XXX: CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE LA RED. ELABORACIÓN PROPIA.	4-51
FIGURA XXXI: RELACIÓN ENTRE FALTA DE SUMINISTRO, DENSIDAD POBLACIONAL, CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE LA RED Y PÉRDIDAS UNITARIAS. ELABORACIÓN PROPIA.	4-51
FIGURA XXXII: SECTORIZACIÓN DISTRITO NACIONAL. ELABORACIÓN PROPIA.	5-57
FIGURA XXXIII: SECTORES EXTERNOS AL DISTRITO NACIONAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	5-58
FIGURA XXXIV: EJEMPLO DE UBICACIÓN DE VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN. ELABORACIÓN PROPIA.	5-59
FIGURA XXXV: DISTRIBUCIÓN DE LAS VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN. ELABORACIÓN PROPIA.....	5-59
FIGURA XXXVI: MEJORAS EN LAS PRESIONES MÁXIMAS, LUEGO DE INSERTAR LAS VRP. ELABORACIÓN PROPIA.....	5-60
FIGURA XXXVII: MEJORAS EN LAS PRESIONES MÁXIMAS, LUEGO DEL CIERRE DE TUBERÍAS. ELABORACIÓN PROPIA.....	5-61
FIGURA XXXVIII: MEJORAS EN LAS PRESIONES MÍNIMAS, LUEGO DEL CIERRE DE TUBERÍAS. ELABORACIÓN PROPIA.....	5-61
FIGURA XXXIX: MEJORAS EN LAS PRESIONES MÍNIMAS LUEGO DE APLICAR LA PROGRAMACIÓN DE LOS HORARIOS Y REAJUSTE EN NIVEL INICIAL DE DEPÓSITOS. ELABORACIÓN PROPIA.	5-64
FIGURA XL: PÉRDIDAS DE CARGA EN EL SECTOR 5. ELABORACIÓN PROPIA.	5-64
FIGURA XLI: LONGITUD DE TUBERÍA SUSTITUIDA EN CADA BARRIO. ELABORACIÓN PROPIA.	5-65
FIGURA XLII: BALANCE DE CAUDALES LUEGO DE LAS ACTUACIONES PROPUESTAS. ELABORACIÓN PROPIA.	5-66
FIGURA XLIII: PRESIONES MÁXIMAS LUEGO DE REALIZADAS LAS ACTUACIONES PROPUESTAS. ELABORACIÓN PROPIA.	5-66
FIGURA XLIV: PRESIONES MÍNIMAS LUEGO DE REALIZADAS LAS ACTUACIONES PROPUESTAS. ELABORACIÓN PROPIA.....	5-67

Capítulo 1: Marco Conceptual

TEMARIO

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Justificación
- 1.3 Objetivos
- 1.4 Alcances del Proyecto
- 1.5 Limitaciones



1 Marco Conceptual

El agua es considerada una necesidad humana básica, por lo tanto es imposible prescindir de la misma y esto no se limita a su uso como nutriente esencial del cuerpo humano, se incluyen necesidades elementales de higiene personal, limpieza doméstica y preparación de alimentos (Howard & Bartram, 2003).

América Latina y el Caribe disponen de casi el 31% de los recursos hídricos del mundo, teniendo alrededor del 8-9% de la población mundial, esto la convierte en la región con mayor disponibilidad per cápita de agua del mundo. Sin embargo, se trata de una cifra promedio que varía considerablemente de una zona a otra, incluso en el interior de un mismo país (Banco Mundial, 2012).

En el caso concreto de la República Dominicana, el país se divide en 6 regiones hidrográficas (Yaque del Norte, Atlántica, Yuna, Este, Ozama-Nizao y Yaque del Sur) con una disponibilidad total de agua, en promedio, de 25,966.69 millones de metros cúbicos al año y una disponibilidad por habitante de 2,580.77 metros cúbicos al año, según la población censada en el año 2010 (Rodríguez, 2016).

En la región Ozama-Nizao se encuentran las provincias Monte Plata, San Cristóbal, Peravia, Ocoa y el principal asentamiento poblacional del País, la Provincia de Santo Domingo. Esta dispone, en promedio, de 4,916.08 millones de metros cúbicos al año, sin embargo debido a la elevada población concentrada en la Provincia de Santo Domingo, la disponibilidad por habitante es de unos 1,346.14 metros cúbicos al año, según la población censada en 2010 (Rodríguez, 2016). Esto, según el indicador Falkenmark de 1989, deja la región en situación de “estrés hídrico”, ya que dispone de menos de 1,700 metros cúbicos per cápita al año, siendo este el límite menor para considerarse “sin estrés”.

Por lo antes expuesto, resultaría de vital importancia una correcta gestión del agua en esta región, específicamente en la Provincia de Santo Domingo. El presente trabajo se concentra en el Análisis y Propuestas de Mejoras para la Red de Distribución de Agua Potable del Distrito Nacional, rodeado por el gran Santo Domingo, donde tiene sede el gobierno dominicano y donde se ubican los mayores centros corporativos, educativos y recreativos del país.

1.1 Antecedentes

El abastecimiento de agua en la Ciudad de Santo Domingo data del siglo XVI, con una conducción del líquido mediante gravedad desde una noria en las proximidades del Convento de San Francisco de Asís, hasta una fuente pública en la Plaza de la Catedral o Plaza Mayor, hoy llamado Parque Colón (CAASD, 2019a).

El primer acueducto con tecnologías modernas fue construido en 1929, teniendo como fuente el Río Isa, fue un sistema a gravedad con líneas de hierro fundido de 16 pulgadas (406.4 mm), en 1946 se construyó un filtro en el lecho del Arroyo Mana con el objetivo de aumentar la capacidad de suministro, formándose el sistema que hoy se conoce como Isa-Mana. En 1952 se construyó el sistema del Río Duey, con tratamiento por filtros lentos de arena, más tarde se incorporan las aguas del Río Guanaito, formándose así el sistema Duey-Guanaito (CAASD, 2019a).

En 1966 se inicia la construcción del sistema Haina Manoguayabo I, consistente en una galería de infiltración del Río Haina y un campo de pozos en la cuenca baja del río. En 1977 se incorpora el sistema La Isabela, con planta de tratamiento de filtración rápida y suministro por bombeo. En 1987-1990 se construyó el sistema de Valdesia, que actualmente es la principal fuente de abastecimiento del Distrito Nacional y opera totalmente por gravedad, con planta de tratamiento de filtración rápida. Finalmente, en 1990-1992 se construye el sistema Haina-Manoguayabo II, con dos plantas de tratamiento de filtración rápida y suministro mediante bombeo (CAASD, 2019a).

Con relación a análisis, estudios, planificación o evolución de la red y sus componentes, no se ha podido encontrar información concreta, al menos disponible en medios electrónicos, pero sí se pudo obtener información dispersa, la cual fue enlazándose. Una parte de los datos utilizados en esta tesis, han sido obtenidos de un Trabajo de Fin de Máster realizado en 2013 por Sócrates Isaac García Frías (García, 2014).

|| 1.2 Justificación

La ciudad de Santo Domingo da inicio a la historia del Nuevo Mundo, en esta se levantaron los primeros edificios de todo el Continente Americano. La llamada Ciudad Colonial, núcleo urbano más antiguo, fundado en 1502 y que actualmente es parte del Distrito Nacional, fue declarada Patrimonio de la Humanidad por la Unesco. Estamos rodeados de rincones maravillosos y calles llenas de historia, a lo que se le adicionan la alegría y generosidad característica del dominicano.

El Distrito Nacional, además de su amplia historia y turismo, fundamentalmente cultural, es la capital de la República Dominicana, donde se ubica la sede del gobierno. Es una zona urbana en su totalidad, en la que operan alrededor del 50% de las empresas registradas en el país y con la mayor densidad poblacional.

El abastecimiento de agua potable es responsabilidad de La Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD). En la mayoría de los sectores el servicio es intermitente, pudiendo tener zonas con cortes en el suministro por horas o hasta días, e incluso, aunque en menor cantidad, zonas donde el agua es llevada en camiones cisterna, por la ausencia absoluta del servicio mediante las redes de distribución. Siendo esta una región que se encuentra bajo “estrés hídrico”, la situación descrita suele agravarse en tiempos de sequía.

Es necesario que el sistema de abastecimiento de agua potable de una ciudad con estas características ofrezca un nivel de servicio y confiabilidad bueno, debido al alto impacto en la salud y la economía que representa. Por esto, es de vital importancia realizar un análisis del sistema y su funcionamiento, para poder identificar los problemas existentes y proponer mejoras.

|| 1.3 Objetivos

|| 1.3.1 Objetivo General

- Construcción de un modelo matemático de la red de distribución de agua potable del Distrito Nacional, Santo Domingo, que servirá como herramienta fundamental para el

análisis del funcionamiento de la red, lo que permitirá finalmente proponer soluciones para lograr mejoras en el sistema.

|| 1.3.2 Objetivos Específicos

- Construir el modelo matemático de la red de distribución de agua potable del Distrito Nacional, conociendo a detalle los elementos que la conforman.
- Modelación dinámica del sistema, incluyendo patrones de consumo que permitan analizar su evolución a través del tiempo.
- Validación del modelo de acuerdo a los datos disponibles, pudiendo ser capaces de corregir cualquier tipo de inconsistencia.
- Análisis del funcionamiento actual del sistema, lo que permitirá conocer las condiciones de la red y hacia dónde se deben enfocar las actuaciones de mejora.
- Evaluación de distintos escenarios de funcionamiento, determinando el impacto de las variaciones.
- Lograr que el Polígono Central del Distrito Nacional posea un suministro continuo, cumpliendo con las presiones mínimas recomendadas.
- Elaboración de propuestas para la mejora integral del sistema, procurando que sean realizables de acuerdo a las características sociales y económicas de la población.

|| 1.4 Alcances del Proyecto

Partiendo de una red de distribución de agua del Distrito Nacional, ya trazada, con altimetría y materiales definidos (García, 2014), se procederá a la estimación e incorporación de los demás elementos necesarios para el funcionamiento de este modelo hidráulico (sistemas de producción, elementos de almacenamiento, caudales demandados, caudales no registrados, patrones de consumo y elementos de regulación) el cual se convierte en la herramienta principal de ayuda al análisis del funcionamiento actual y de los distintos posibles escenarios.

Las recomendaciones propuestas serán lo más realistas posibles, intentando que sean realizables y que la mejoría del sistema vaya dándose de manera gradual.

Se realizará un análisis del Distrito Nacional, exclusivamente, aunque estando conscientes de que el comportamiento hidráulico del Distrito no está desligado del gran Santo Domingo, debido a que los sistemas de producción también abastecen parte de la demanda de otros municipios como son San Cristóbal, Santo Domingo Oeste, Bajos de Haina, Villa Altigracia, Pedro Brand y Los Alcarrizos. Por esta razón, los municipios que se relacionan han sido representados, pero no estudiados.

|| 1.5 Limitaciones

La información proveniente de instituciones oficiales y mediante vías oficiales ha sido limitada. Esto se debe en cierta medida a una falta de organización y modernización en las instituciones



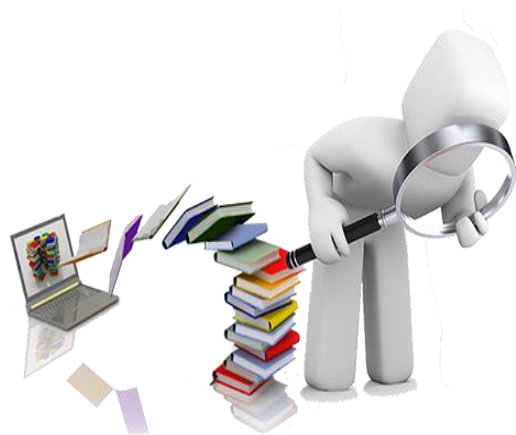
responsables del área y a la ausencia de ciertos datos. Actualmente en Santo Domingo no se cuenta con macromedición de agua y la micromedición es muy baja, en general menos del 30% de los abonados poseen contadores y de los pocos que existen no se tiene información confiable debido a su deficiente mantenimiento y control.

Por tanto, los caudales reales inyectados a la red son desconocidos y se han estimado de acuerdo a la capacidad de producción de las plantas potabilizadoras, de igual manera las demandas son desconocidas y se han estimado de acuerdo a la población. El porcentaje de agua no registrada ha sido obtenido de declaraciones ofrecidas por funcionarios de la CAASD, pero desconocemos cómo fue estimado este parámetro y finalmente los patrones de consumo fueron tomados de la ciudad de Bogotá, Colombia.

Capítulo 2: Marco Teórico

TEMARIO

- 2.1 Localización y Descripción de la Zona de Estudio
- 2.2 Descripción de la Población
- 2.3 Marco Institucional y Jurídico para el Abastecimiento de Agua
- 2.4 Descripción del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Distrito Nacional



2 Marco Teórico

2.1 Localización y Descripción de la Zona de Estudio

La zona de estudio pertenece a la República Dominicana, país ubicado en Latinoamérica, específicamente en la región del Caribe, en una isla llamada La Española, dentro de la que se encuentran dos estados soberanos, Haití y la República Dominicana.

La isla se localiza al sureste de América del Norte, al este de América Central y al norte de América del Sur, entre las islas de Cuba, Jamaica y Puerto Rico, como se muestra en la figura I.

La República Dominicana limita al norte con el océano Atlántico, al este con el canal de la Mona, al sur con el mar Caribe y al oeste con la República de Haití.

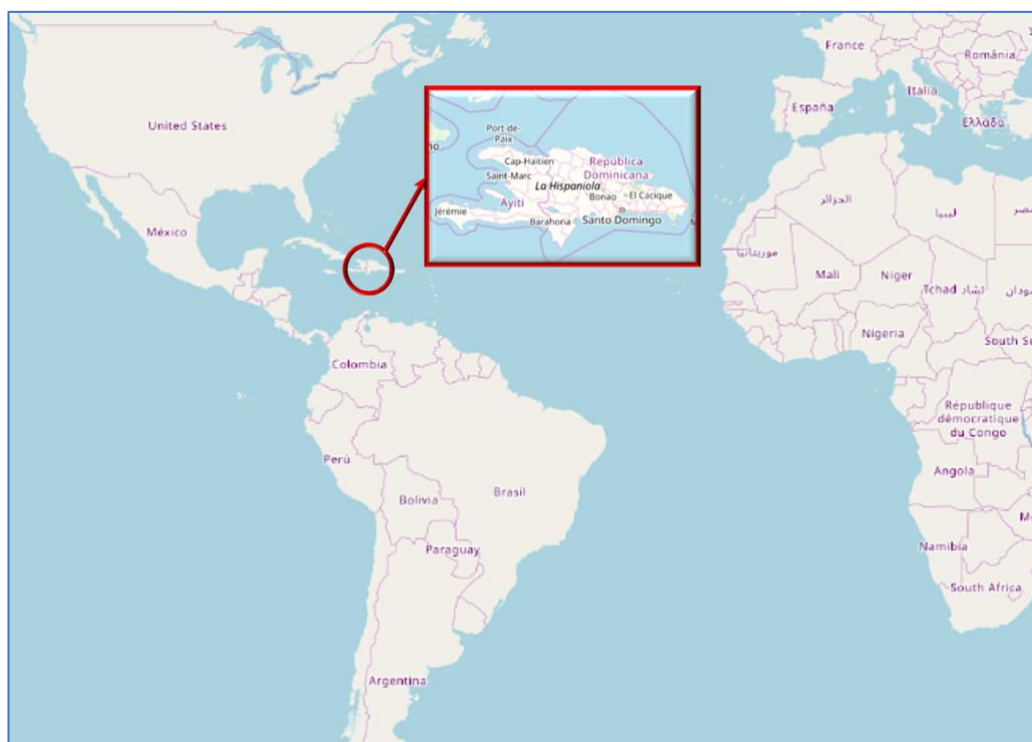


Figura I: Localización de la República Dominicana. Elaboración propia.

2.1.1 Localización del Distrito Nacional

El país se divide en tres macroregiones; Sur, Este y Cibao; que a su vez se subdividen en 10 regiones de desarrollo.

Administrativamente, el territorio del país está dividido en 31 provincias y 1 Distrito Nacional, los cuales a su vez se subdividen en municipios y distritos municipales, 158 y 231 respectivamente.

El Distrito Nacional es una división político-administrativa especial, constituido sólo por la ciudad de Santo Domingo de Guzmán. Se ubica en la región Ozama (perteneciente a la macroregión Este), sus límites son al norte la Autopista Duarte, hasta el km 13 (entre Avenida República de Colombia y Pantoja) y el río Isabela; al este el río Ozama y el municipio de Santo Domingo Este; al sur el mar Caribe; y al oeste con el municipio de Santo Domingo Oeste y la Avenida Gregorio Luperón. Sus coordenadas geográficas son 18°29' latitud norte y 69°56' latitud oeste (ONE, 2017).

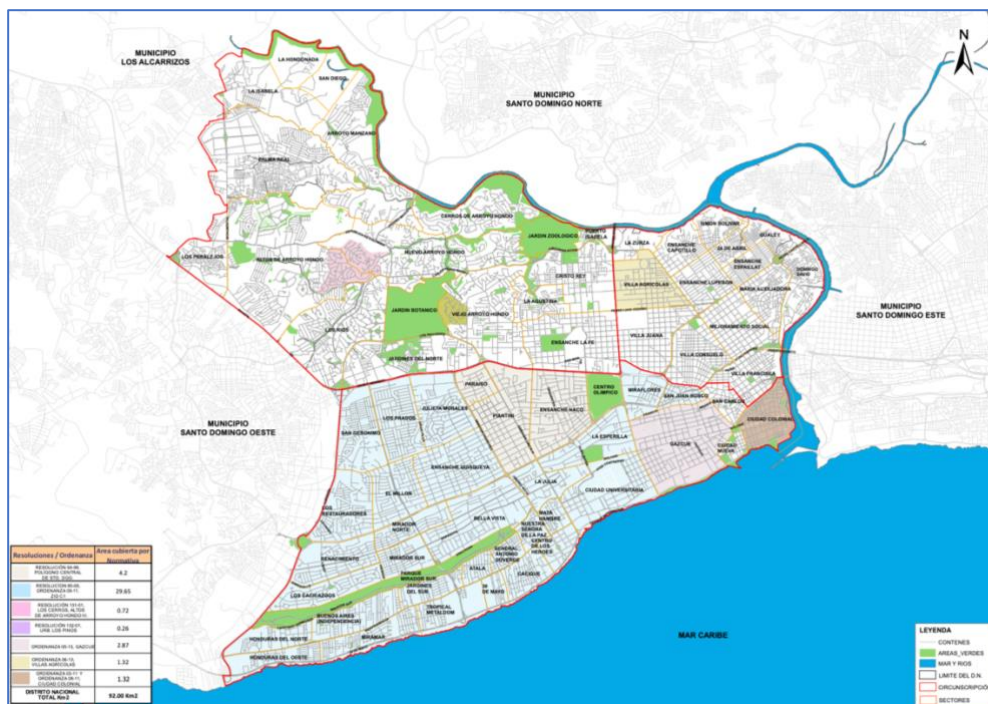


Figura II: Plano general del Distrito Nacional (ADN, 2019).

2.1.2 Características del Distrito Nacional

La extensión territorial del Distrito es de 91.58 km², con una población de 965,040 habitantes según el censo del 2010 y densidad poblacional de 10,538 hab./km². Se divide en tres circunscripciones con características ambientales, espaciales y socioeconómicas diferenciadas, que a la vez se subdividen en 70 barrios, como se muestra en la figura III (ADN, 2017).

- Circunscripción 1:** Ubicada al sur del Distrito Nacional, posee un territorio de 39.36 km², dentro del cual se encuentran 38 barrios; Honduras del Oeste, Honduras del Norte, Paseo de los Indios, Los Cacicazgos, Renacimiento, Los Restauradores, San Gerónimo, Paraíso, Julieta Morales, Los Prados, El Millón, Mirador Norte, Mirador Sur, Atala, Bella Vista, Ensanche Quisqueya, Piantini, La Julia, Nuestra Señora de la Paz, General Antonio Duvergé, 30 de Mayo, Cacique, Centro de los Héroes, Mata Hambre, Ciudad Universitaria, La Esperilla, Ensanche Naco, Centro Olímpico, Miraflores, San Juan Bosco, Gazcue, Ciudad Nueva, San Carlos, Ciudad Colonial, Buenos Aires, Miramar, Jardines del Sur y Tropical Metaldom. Esta es la circunscripción con mayor relevancia económica y cultural (ADN, 2017).
- Circunscripción 2:** Ubicada al noroeste del Distrito Nacional, posee un territorio de 39.35 km², dentro del cual se encuentran 18 barrios; Los Paralejos, Palma Real, Arroyo

Manzano, Altos de Arroyo Hondo, Los Ríos, Puerto Isabela, Los Jardines, Jardín Botánico, Nuevo Arroyo Hondo, Cerros de Arroyo Hondo, Viejo Arroyo Hondo, Ensanche la Fe, La Agustina, Cristo Rey, Jardín Zoológico, La Isabela, La Hondonada y San Diego. Es un territorio en expansión, de particulares características topográficas, con una gran relevancia en términos de espacios naturales, donde se ubican los parques Jardín Botánico Nacional y Zoológico nacional (ADN, 2017).

- Circunscripción 3:** Ubicada al noreste del Distrito Nacional, posee un territorio de 13.29 km², dentro del cual se encuentran 14 barrios; La Zurza, Villas Agrícolas, Villa Juana, Villa Consuelo, Ensanche Luperón, Ensanche Capotillo, Simón Bolívar, 24 de Abril, Ensanche Espaillat, María Auxiliadora, Mejoramiento Social, Villa Francisca, Domingo Savio y Gualey. Es el territorio de menor extensión territorial, pero a su vez el de mayor ocupación informal y mayor densidad habitacional (ADN, 2017).

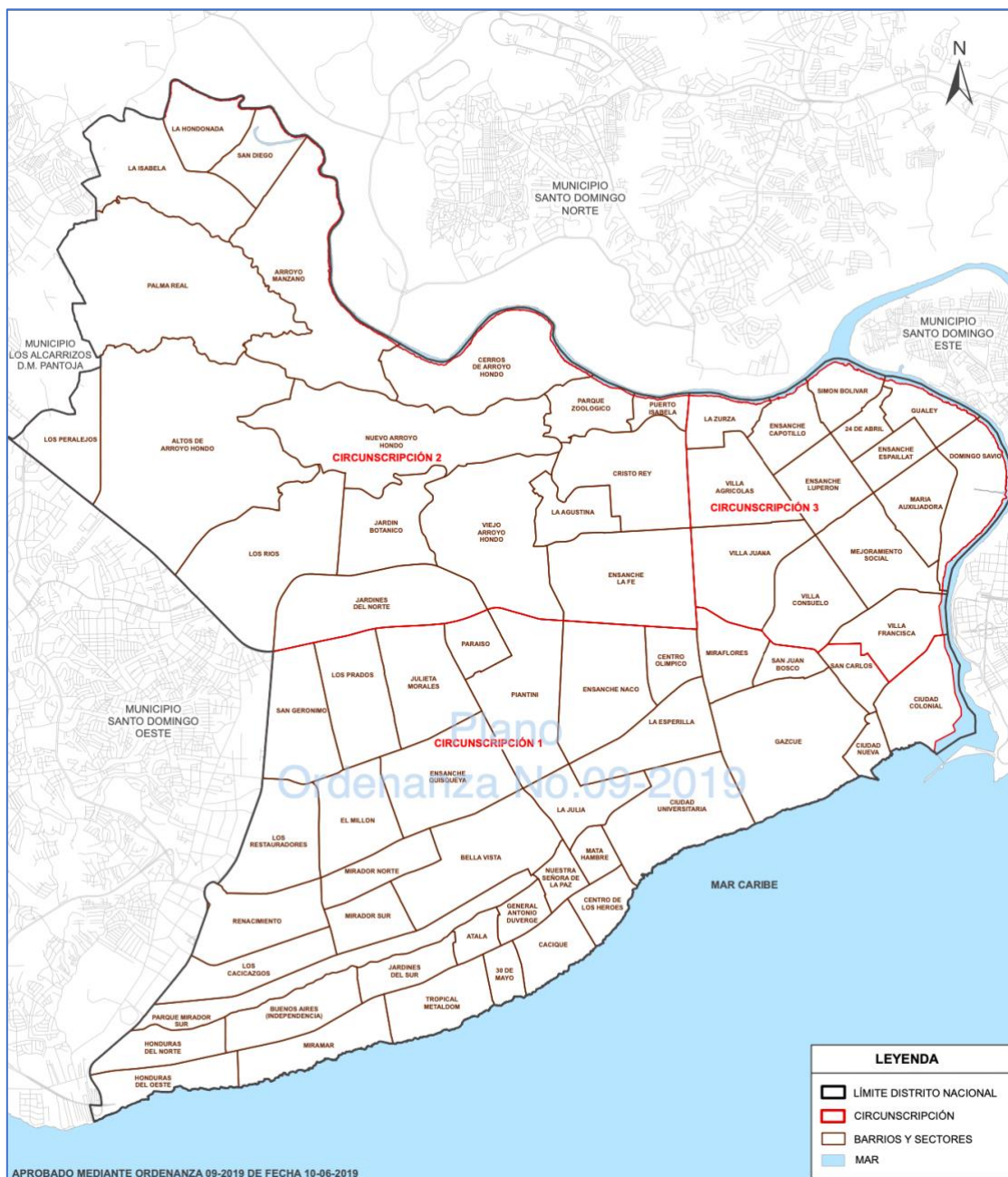


Figura III: División territorial del Distrito Nacional (ADN, 2019).

2.1.2.1 Polígono Central

El polígono central es una zona especial, que se ubica en la circunscripción 1 del Distrito Nacional, delimitado al norte por la avenida John F. Kennedy, al sur por la avenida 27 de febrero, al este por la avenida Ortega y Gasset y al Oeste por la avenida Winston Churchill, como se muestra en la figura IV. Dentro de este polígono se encuentran los barrios Piantini, Paraíso y Ensanche Naco, que albergan el centro financiero del país, así como el mayor desarrollo en infraestructura y servicios.

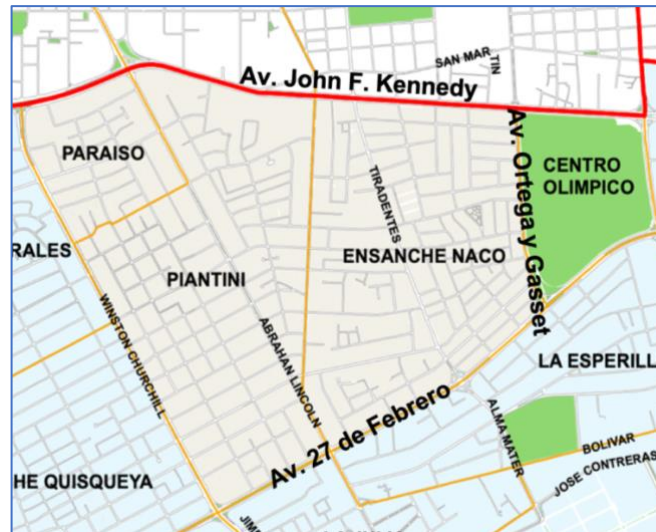


Figura IV: Barrios que conforman el Polígono Central (ADN, 2019).

2.1.2.2 Clima

El clima es Tropical Húmedo de Sabana. “La temperatura media anual en el Distrito Nacional es $27.1 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$, con un temperatura mínima promedio al año que ocurre hacia febrero de 21.2°C , y una máxima a finales de verano, en septiembre, de 32.3°C ” (ADN, 2017). La precipitación media anual, de acuerdo a los datos de la Estación Meteorológica de Santo Domingo, fue de aproximadamente 1,516 mm, siendo los meses más húmedos entre mayo y octubre y los meses más secos febrero y marzo.

2.1.2.3 Recursos Hídricos

El Distrito Nacional se encuentra dentro de la región hidrográfica Ozama-Nizao, específicamente en la cuenca del Río Ozama, que está formada por 6 sub-cuencas, las que ocupan el territorio del Distrito Nacional son las de los ríos Ozama e Isabela. En la circunscripción 3 se agrupan más de 50 cañadas fluyendo desde la ribera Oeste del Ozama y la ribera Sur del Isabela, formando un sistema de micro-cuencas entre las barriadas de la zona, varias de estas áreas se tornan propensas a inundaciones. (ADN, 2017).

Aunque los ríos que ocupan el territorio son el Ozama e Isabela, el suministro de agua potable no se realiza exclusivamente desde ahí. Las redes del Distrito Nacional y de otras partes de la Provincia de Santo Domingo, son alimentadas por los ríos Isabela en Santo Domingo Norte, Haina en San Cristóbal, Nizao en Peravia, Duey y Haina en Villa Altagracia (San Cristóbal) e Isa y Mana en Villa Altagracia (San Cristóbal).

2.1.2.4 Altimetría

La altimetría del Distrito presenta variaciones de cotas que van desde aproximadamente 60 msnm para sus partes más altas a 5 msnm para sus partes más bajas, con tres terrazas; la primera la del Parque Litoral Marino, la segunda la del Parque Mirador Sur, la tercera entre las Av. Cesar Nicolás Penson y la 27 de febrero. En la figura V se muestra un mapa de altitud del Distrito Nacional.



Figura V: Mapa de altitud del Distrito Nacional (Topographic-Map, 2019).

2.2 Descripción de la Población

Siendo el núcleo urbano más importante del país, según los datos del IX Censo Nacional de Población y Vivienda (2010), el área del Gran Santo Domingo posee el 35% de la población nacional, de esta cantidad aproximadamente un 10% reside en el Distrito Nacional (965,040 habitantes) y se prevé que para 2040 alcance más de un 30%, principalmente por el continuo flujo migratorio rural-urbano. Para 2010, los habitantes del Distrito estaban repartidos en las distintas circunscripciones de la siguiente manera (ONE, 2012);

2.2.1 Reparto de la Población en el Territorio

- **Circunscripción 1:** Posee 97,036 viviendas, repartidas en 38 barrios, en las que habitan 310,460 personas (según Censo 2010), en una superficie de 39.36 km², con densidad poblacional de 7,887.70 hab./ km².

A continuación, se presenta una tabla que contiene la población y densidad poblacional de la circunscripción 1, repartida en sus 38 barrios.

Tabla I: Población y densidad por barrio (Circunscripción 1). Elaboración propia con datos de (ONE, 2012).

Barrio	Habitantes	Superficie km ²	Densidad Hab./ km ²	Barrio	Habitantes	Superficie km ²	Densidad Hab./ km ²
Parque Mirador Sur	95	1.40	68	Ciudad Nueva	2,587	0.30	8,623
Centro de los Héroes	62	0.50	124	Paraíso	4,375	0.50	8,750
Miraflores	1,066	0.80	1,333	Mirador Norte	6,407	0.70	9,153
Tropical Metaldom	2,502	1.00	2,502	San Gerónimo	12,957	1.40	9,255
Ciudad Universitaria	8,112	1.90	4,269	Julieta Morales	14,856	1.50	9,904
Gazcue	12,574	2.90	4,336	General Antonio Duvergé	4,385	0.40	10,963
La Esperilla	6,813	1.50	4,542	Cacique	7,678	0.70	10,969
Mirador Sur	3,277	0.70	4,681	Los Restauradores	15,554	1.40	11,110
Piantini	9,957	1.90	5,241	Honduras del Oeste	9,264	0.80	11,580
Ciudad Colonial	8,477	1.30	6,521	Honduras del Norte	9,773	0.80	12,216
Ensanche Naco	11,106	1.70	6,533	Atala	3,724	0.30	12,413
La Julia	6,205	0.90	6,894	Ensanche Quisqueya	24,850	1.90	13,079
Los Prados	9,664	1.40	6,903	Jardines del Sur	8,789	0.60	14,648
Los Cacicazgos	7,098	1.00	7,098	Mata Hambre	5,530	0.30	18,433
San Juan Bosco	2,973	0.40	7,433	30 de Mayo	5,948	0.30	19,827
El Millón	9,137	1.20	7,614	Nuestra Señora de la Paz	6,055	0.30	20,183
Bella Vista	15,604	2.00	7,802	San Carlos	9,158	0.40	22,895
Renacimiento	9,372	1.20	7,810	Buenos Aires Mirador	25,878	1.00	25,878
Miramar	8,499	1.00	8,499	Centro Olímpico	99	0.60	165

- **Circunscripción 2:** Posee 67.725 viviendas, repartidas en 18 barrios, en las que habitan 293,988 personas (según Censo 2010), en una superficie de 39.35 km², con densidad poblacional de 7,471.10 hab./ km².

A continuación, se presenta una tabla que contiene la población y densidad poblacional de la circunscripción 2, repartida en sus 18 barrios.

Tabla II: Población y densidad por barrio (Circunscripción 2). Elaboración propia con datos de (ONE, 2012).

Barrio	Habitantes	Superficie km ²	Densidad Hab./ km ²	Barrio	Habitantes	Superficie km ²	Densidad Hab./ km ²
Jardín Zoológico	19	0.50	38	Los Jardines	15,996	2.10	7,617
Jardín Botánico	271	1.30	208	Nuevo Arroyo Hondo	30,784	3.80	8,101
San Diego	240	0.90	267	Ensanche la Fe	19,113	2.30	8,310
La Hondonada	1,317	0.90	1,463	Palma Real	38,865	3.80	10,228
Cerros de Arroyo Hondo	3,258	2.10	1,551	Puerto Isabela	3,543	0.30	11,810

Barrio	Habitantes	Superficie km ²	Densidad Hab./ km ²	Barrio	Habitantes	Superficie km ²	Densidad Hab./ km ²
Arroyo Manzano	5,894	3.40	1,734	Los Paralejos	14,220	1.00	14,220
La Isabela	6,121	1.90	3,222	Los Ríos	43,001	2.90	14,828
Altos de Arroyo Hondo	19,676	6.10	3,226	Cristo Rey	57,084	2.00	28,542
Viejo Arroyo Hondo	14,269	2.80	5,096	La Agustina	20,317	0.70	29,024

- **Circunscripción 3:** Posee 97,177 viviendas, repartidas en 14 barrios, en las que habitan 360,592 personas (según Censo 2010), en una superficie de 13.29 km², con densidad poblacional de 27,132.58 hab./ km².

A continuación, se presenta una tabla que contiene la población y densidad poblacional de la circunscripción 3, repartida en sus 14 barrios.

Tabla III: Población y densidad por barrio (Circunscripción 3). Elaboración propia con datos de (ONE, 2012).

Barrio	Habitantes	Superficie km ²	Densidad Hab./ km ²	Barrio	Habitantes	Superficie km ²	Densidad Hab./ km ²
La Zurza	22,545	0.60	37,575	24 de Abril	16,870	0.40	42,175
Villas Agrícolas	26,866	1.30	20,666	Ensanche Espaillat	16,841	0.50	33,682
Villa Juana	31,070	1.70	18,276	María Auxiliadora	38,805	0.90	43,117
Villa Consuelo	19,425	1.10	17,659	Mejoramiento Social	28,225	1.20	23,521
Ensanche Luperón	13,763	0.90	15,292	Villa Francisca	20,010	1.10	18,191
Ensanche Capotillo	34,738	0.80	43,423	Domingo Savio	44,867	1.30	34,513
Simón Bolívar	25,406	0.60	42,343	Gualey	21,161	0.60	35,268

2.2.2 Nivel Socioeconómico

Para 2010, el Gran Santo Domingo generaba aproximadamente el 50% del PIB. Para esta misma fecha, el Distrito Nacional contaba con una población económicamente activa de 372,228 personas, una población ocupada de 350,583 personas y una población inactiva de 410,657 personas. La tasa ocupacional ascendía a 43.7%, mientras que la tasa de desempleo era de 5.8%.

En el Distrito, el 26.7% de los hogares se encontraban en pobreza general y 4.7% en pobreza extrema, ocupando la posición número 32 en el ranking de pobreza general, de un total de 32 posiciones (Morillo, 2014).

Como se muestra en la figura VI, las 5 mayores carencias eran; medio de transporte privado (57.3%), agua potable (20.4%), escolaridad adulta (15.0%), equipamiento básico del hogar (14.8%), y tamaño de la vivienda (10.8%) (Morillo, 2014).

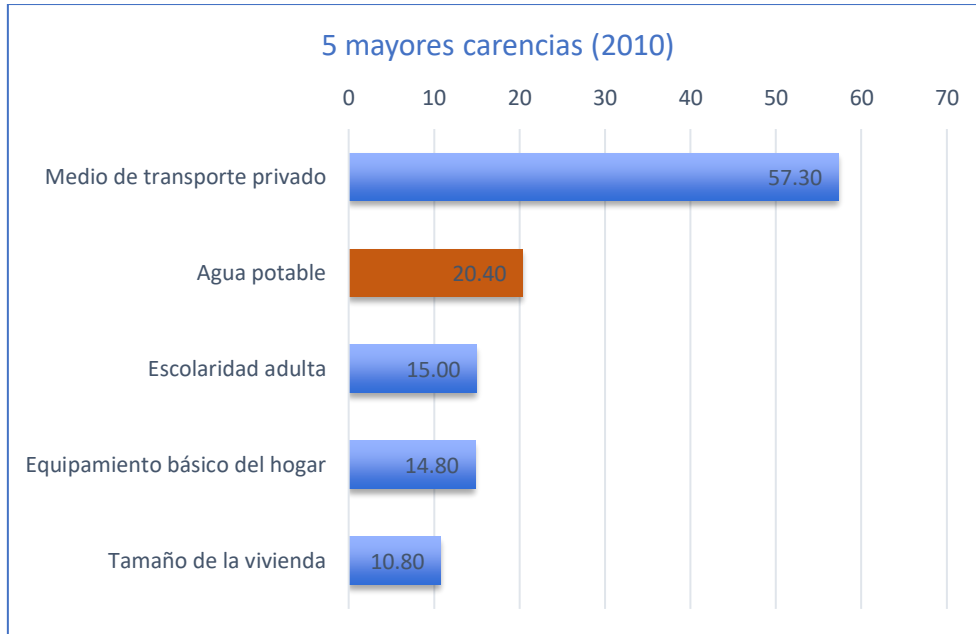


Figura VI: Mayores carencias en el Distrito Nacional. Elaboración propia.

Los diez barrios con mayores tasas de pobreza son; La Hondonada, Domingo Savio, La Zurza, La Isabela, Gualay, Ensanche Capotillo, Simón Bolívar, San Diego, Palma Real y María Auxiliadora; todos en la parte alta (noreste y norte). Por otro lado, los diez barrios con menos tasas de pobreza son; Mirador Sur, Gazcue, Renacimiento, Atala, Mirador Norte, Los Cacicazgos, La Esperilla, Piantini, Paseo de los Indios y Jardín Zoológico (Morillo, 2014).

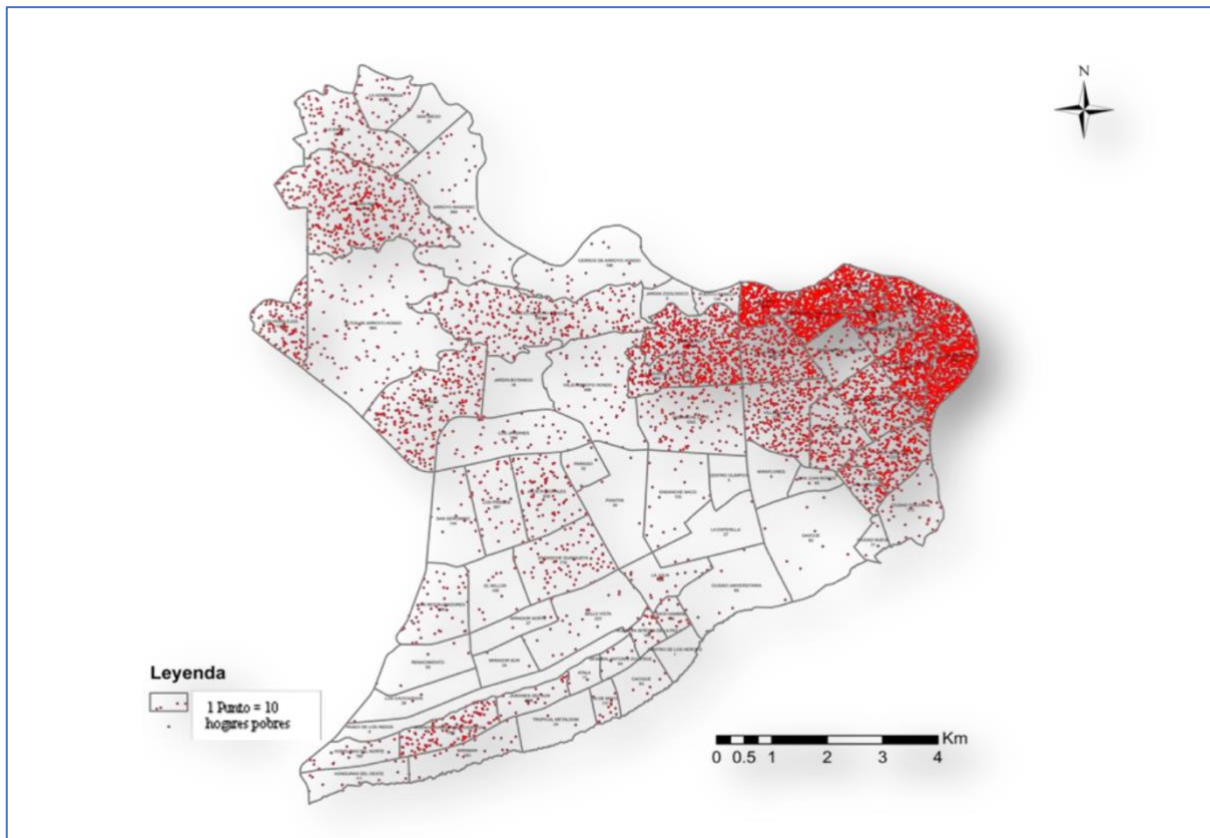


Figura VII: Distribución de hogares pobres (Morillo, 2014).

En la figura VII se muestra la distribución de hogares pobres en todo el Distrito Nacional, observándose una gran concentración de bolsones de pobreza en la parte noreste, perteneciente a la circunscripción 3.

En los hogares pobres se presentan los niveles más bajos de educación escolar, satisfacción de las necesidades básicas, acceso a servicios de salud y participación en el mercado laboral.

Tomando en cuenta la cantidad de empresas registradas y operativas en el Distrito, el alto nivel de ingresos de este territorio en relación a los demás y la alta densidad poblacional concentrada en esta zona 100% urbana, aunque los niveles de pobreza sean los más bajos de todo el país, la desigualdad social y económica es abismal, presentando una marginalidad social muy marcada especialmente en los sectores de la ribera del río Ozama, con asentamientos inseguros, escasez de servicios básicos y estructuras de muy baja calidad.

|| 2.3 Marco Institucional y Jurídico para el Abastecimiento de Agua

En general, la República Dominicana cuenta con 8 instituciones de agua potable, siendo la que abarca mayor territorio el Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA), luego le siguen; la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN); la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Puerto Plata (CORAAPLATA); la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD); la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Moca (CORAAMOCA); la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de La Romana (CORAAROM); la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de La Vega (CORAAVEGA); y la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Boca Chica (CORAABO).

En el Distrito Nacional, así como en toda la Provincia de Santo Domingo, la institución responsable del abastecimiento de agua potable es la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD).

La CAASD se crea en 1973 como institución de servicio público con carácter autónomo, sujeta a las prescripciones de la Ley No. 498. Tiene a su cargo elaborar y ejecutar los planes de los sistemas de abastecimiento de agua potable y disposición de aguas residuales de la Ciudad de Santo Domingo y poblaciones de influencia, así como la administración, operación, mantenimiento y ampliación de los sistemas (Ley No. 498, que crea la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo, 1973).

La Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo cuenta con un consejo de directores, que funge como organismo superior, compuesto de 7 miembros; a) el Alcalde del Distrito Nacional; b) el Director Ejecutivo del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (HIDRHI); c) el Director Ejecutivo del Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA); d) el Gobernador del Banco Central de la Rep. Dominicana; e) el Director General de la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD) y f) dos miembros elegidos por el Poder Ejecutivo (Ley No. 498, que crea la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo, 1973).

La institución posee un reglamento para la “Prestación y Cobro de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado”, otro para la “Instalación de acometidas” y finalmente uno para “Obras Externas”. El único reglamento técnico encontrado, con parámetros y limitaciones en

cuanto a diseño, pertenece al Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados (INAPA), titulado “Reglamento Técnico para Diseño de Obras e Instalaciones Hidro-Sanitario del INAPA”, de Julio del 2018.

En la República Dominicana existen diversas instituciones que se encargan de regular lo relacionado al agua, desde su medio natural hasta el procesamiento, distribución y recolección, pero sin coordinación y separación correcta de roles, presentándose usurpación de funciones, fragmentación de la regulación, alto nivel de duplicidad en las labores, además de confusión de las leyes y reglamentos, las que también necesitan ser actualizadas y ampliadas.

Hace ya dos décadas se discute una Propuesta de Ley de Aguas para poder organizar el sector, donde se propone crear la Autoridad Nacional del Agua (ANAGUA), que sustituiría al actual Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), además de organismos sectoriales responsables de la regulación de los servicios del agua, con la responsabilidad de vigilar y fiscalizar a los operadores de servicios.

La nueva ley busca “*garantizar la seguridad hídrica de la República Dominicana, mediante disponibilidad del recurso agua, en calidad y cantidad suficientes y en la oportunidad en que sea requerida, así como ordenar, regular y administrar el uso del dominio público hídrico para contribuir al desarrollo sostenible de la nación*” (CDN, 2020).

2.4 Descripción del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Distrito Nacional

Como ya se ha mencionado, la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD) es la institución responsable del abastecimiento de agua potable en el Distrito.

Las fuentes de abastecimiento son principalmente superficiales y las aguas subterráneas pasan a tener rol secundario, al menos en relación a las aguas servidas por la CAASD, ya que de manera privada existe una explotación de las aguas subterráneas muy amplia. Se han podido identificar 5 fuentes superficiales importantes.

Desde las fuentes de abastecimiento se envía el caudal a los tanques de almacenamiento, todos construidos a nivel del terreno y con base circular, excepto uno que es elevado y con forma esférica. En total se reparten en 7 ubicaciones distintas, pudiendo haber uno o más en cada sector, para unos 12 reservorios de importancia.

En la mayoría de los sectores el servicio de agua potable es intermitente por diversos factores como son: la intermitencia en el servicio de energía eléctrica; ausencia casi total de macro y micro medición, lo que no estimula al ahorro en el consumo por parte de la población, pero que además dificulta la correcta gestión del sistema; elevados caudales de agua no registrada, que en parte es debido a la misma falta de medición y control, lo que también se agrava con la edad de la red, la falta de mantenimiento y renovación, y la forma desorganizada en que ha crecido.

2.4.1 Principales Fuentes de Abastecimiento

Las principales fuentes de abastecimiento del Distrito Nacional provienen de aguas superficiales captadas mediante embalses y obras de toma en los ríos Nizao, Haina, Isabela, Isa, Mana, Duey y Guanaito.

2.4.1.1 Cuenca Río Nizao

Ubicado en la región sureste del país, el Río Nizao inicia en la Cordillera Central y desemboca en el Mar Caribe. La cuenca cuenta con una superficie de 1,039.84 km², repartida en 9 subcuencas, que a su vez se distribuyen en 10 municipios que incluyen territorios en las provincias de La Vega, Peravia, San Cristóbal y San José de Ocoa. Es uno de los ríos más importantes, posee cuatro presas: Jigüey, Aguacate, Valdesia y Las Barías (MIMARENA, 2019a).

2.4.1.1.1 Estación de Tratamiento de Agua Potable de Valdesia

La Presa de Valdesia es una fuente de aprovechamiento múltiple (producción energética, riego y abastecimiento de agua potable) y desde su embalse son conducidas las aguas del sistema de Valdesia. Este consta de una estación de tratamiento de agua potable de tipo filtración rápida, diseñada para un caudal de producción de 6.8 m³/s, con suministro totalmente a gravedad. Es la fuente de abastecimiento más importante del Distrito Nacional (CAASD, 2018).

2.4.1.2 Cuenca Río Haina

Posee una superficie de 564.15 km², con 83.22% dentro de la provincia San Cristóbal, mayormente en el municipio de Villa Altagracia y una pequeña porción en el municipio Bajos de Haina, la parte restante se encuentra dentro de la Provincia de Santo Domingo. Nace en la loma Zumbador en Maimón (1,260 msnm), al noroeste del municipio de Villa Altagracia y desemboca al Mar Caribe, cerca del Municipio Bajos de Haina (MIMARENA, 2019c).

Los principales afluentes que drenan directamente al cauce son los ríos: Isa, Duey, Guaninito y Básima, que nacen en la loma Arroyo Grande (1,286 msnm). Además, a estos les confluyen los ríos: Mana, Maiboa y Joa (MIMARENA, 2019c).

2.4.1.2.1 Estación de Tratamiento de Agua Potable Haina – Manoguayabo

Posee una obra de toma con dique derivador, colocado transversalmente al Río Haina, impulsando las aguas crudas a las estaciones de tratamiento de agua potable mediante un sistema de bombeo (CAASD, 2018).

La estación se conforma por 2 plantas potabilizadoras de filtración rápida con 4 módulos cada una. Cada módulo puede tratar 0.5 m³/s, para una producción total de 4 m³/s. Este es el segundo sistema de abastecimiento más importante para el Distrito Nacional y su funcionamiento es completamente mediante bombeo (CAASD, 2018).

2.4.1.2.2 Estación de Tratamiento de Agua Potable Duey - Guaninito

Este es un sistema antiguo (1952), que capta sus aguas de manera directa a través de un dique derivador con toma caucasiana, sus fuentes son el Río Duey y el Río Guaninito. Su producción máxima es de 1 m³/s, y funciona completamente a gravedad (CAASD, 2018).

2.4.1.2.3 Estación de Tratamiento de Agua Potable Isa – Mana

Este es el primer acueducto de Santo Domingo (1928), capta sus aguas de manera directa a través de una toma en el Río Isa y una galería de infiltración en el Río Mana. Su capacidad de producción máxima es de 0.8 m³/s, con suministro por gravedad.

2.4.1.3 Cuenca Ozama

Posee una superficie de 2,847.15 km², abarcando gran parte de la provincia Monte Plata, una pequeña porción del municipio Villa Altagracia (Provincia San Cristóbal) y la provincia de Santo Domingo, influyendo en los municipios de Santo Domingo Norte, Santo Domingo Este, San Antonio de Guerra, Pedro Brand, Los Alcarrizos y el Distrito Nacional (MIMARENA, 2019b).

El Río Ozama nace en la Loma Siete cabezas, en la Sierra de Yamasá y desemboca en el Mar Caribe. Sus afluentes principales están agrupados dentro de las subcuencas de los ríos Isabela, Yabacao y Savita.

El Río Isabela nace al noreste del municipio de Villa Altagracia, en la Loma El Pílon (700 msnm), teniendo como principales afluentes los arroyos Piedra Gorda, Lajas, Lebrón, Arenoso y Río Matúa (MIMARENA, 2019b).

2.4.1.3.1 Estación de Tratamiento de Agua Potable Isabela

Capta sus aguas directamente del Río Isabela a través de un dique derivador. La planta de potabilización es de tipo filtración rápida, con capacidad máxima de producción de 0.5 m³/s, con suministro mediante bombeo.

2.4.2 Resumen Estaciones de Tratamiento de Agua Potable

A continuación, se presenta una tabla resumen, agrupando las diversas fuentes de abastecimiento, la forma de suministro, además de la capacidad de producción instalada y media.

Tabla IV: Estaciones de tratamiento de agua potable con incidencia en el suministro del Distrito Nacional. Elaboración propia.

ETAP	Cuenca	Fuente	Forma de Suministro	Capacidad Instalada m ³ /s	Producción Promedio (2016-2019) m ³ /s
Valdesia	Nizao	Río Nizao	Gravedad	6.80	6.45
Haina - Manoguayabo	Haina	Río Haina	Bombeo	4.00	2.50
Duey - Guanarito	Haina	Río Duey Río Guanarito	Gravedad	1.00	0.84
Isa - Mana	Haina	Río Isa Río Mana	Gravedad	0.80	0.54
Isabela	Ozama	Río Isabela	Bombeo	0.50	0.22

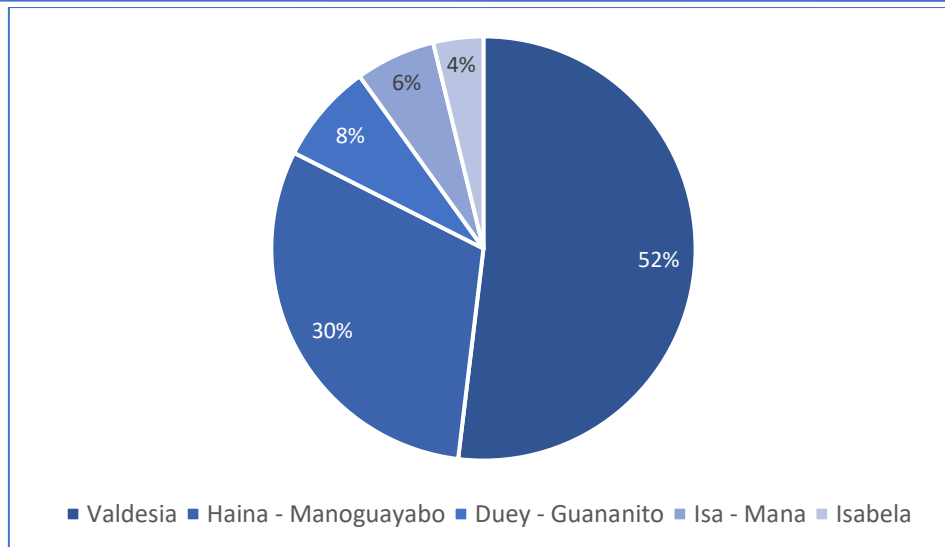


Figura VIII: Producción estaciones de tratamiento de agua potable con incidencia en el suministro del Distrito Nacional. Elaboración propia.

En la figura VIII se muestra el aporte realizado por cada fuente de suministro, siendo el Sistema Valdesia el de mayor importancia con 52%, seguido del Sistema Haina-Manoguayabo con 30% y el 18% para el resto.

2.4.3 Depósitos de Almacenamiento de Agua

Desde las diferentes fuentes de abastecimiento, llega el caudal a los tanques de almacenamiento y a partir de ahí se integra a la red de distribución. Los principales depósitos son los mostrados en la siguiente tabla:

Tabla V: Depósitos de almacenamiento de agua (García, 2014).

Descripción	D1 Partición (Aut. Duarte)	D2 Partición (Aut. Duarte)	D3 Palmar Herrera	D4 Sede Central	D5 Evaristo Morales	D6 Villa Juana	D7 San Juan Bosco	D8 Moscoso Puello
ID Sector Ubicación	B2-12	B2-12	B1-28	B2-17	B1-30	B3-12	B1-37	B3-06
Cantidad depósitos	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00
Cota Solera (m)	59.20	59.20	55.25	50.20	56.00	45.20	45.20	41.55
Altura (m)	15.00	30.00	25.00	30.00	25.00	15.00	25.00	30.00
Nivel Inicial (m)	6.66	19.53	11.01	14.10	9.08	20.30	17.50	21.04
Nivel Mínimo (m)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	20.30	0.30	0.30
Nivel Máximo (m)	14.80	29.80	24.80	29.80	24.80	34.80	24.80	29.80
Diámetro (m)	60.00	30.00	40.00	25.00	40.00	34.64	40.00	25.00
Sección (m²)	8,482.30	706.86	1,256.64	490.87	1,256.64	942.48	2,513.27	981.75
Diámetro Equivalente (m)	103.92	30.00	40.00	25.00	40.00	34.64	56.57	35.36
Volumen (m³)	127,234.50	21,205.75	31,415.93	14,726.22	31,415.93	14,137.17	62,831.85	29,452.43

2.4.4 Composición de la Red

Es oportuno señalar que el plano al que tuvimos acceso carece de información en algunos barrios de la parte noroeste de la circunscripción 2 del Distrito Nacional. Entonces, de acuerdo

a esa red obtenida, las longitudes de las conducciones suman 1,196 km, aproximadamente, incluyendo redes principales y secundarias.

2.4.4.1 Diámetros

Los diámetros van desde 2 pulgadas, equivalente a 50.8 mm, hasta 67 pulgadas, equivalente a 1,701.8 mm. A continuación, se muestra una tabla con las longitudes de la red según los diámetros.

Tabla VI: Longitud de red, según diámetros. Elaboración propia.

Diámetro (pulgadas)	Diámetro (mm)	Longitud (km)
$02 \leq D < 08$	$50.8 \leq D < 203.3$	877.50
$08 \leq D < 20$	$203.2 \leq D < 508.0$	219.44
$20 \leq D < 42$	$508.0 \leq D < 1066.8$	73.27
$D \geq 42$	$D \geq 1066.8$	25.99

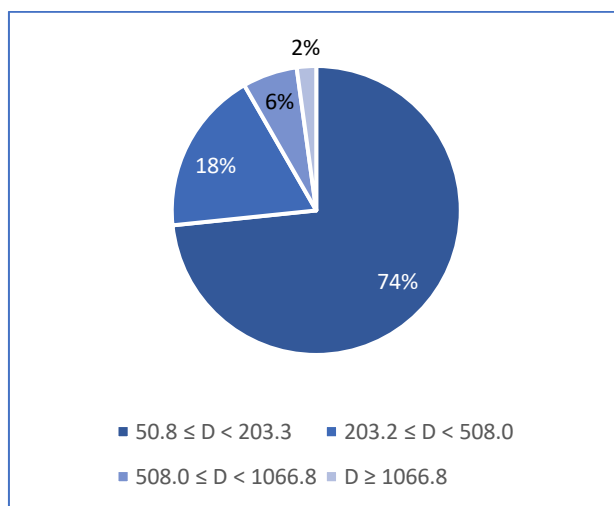


Figura IX: Distribución de diámetros. Elaboración propia.

En la figura IX se muestra la distribución de los diámetros, observándose que el 74% de la red se compone de diámetros entre 50.8 y 203.3 mm (2 y 8 pulgadas), mientras que el 18% se compone de diámetros entre 203.2 y 508.0 mm (8 y 20 pulgadas) y el resto representa un 8%.

2.4.4.2 Materiales

Las conducciones son de materiales diversos, entre los que se incluyen: Asbesto-Cemento (AC), Hierro Dúctil (HD), Hierro Fundido (HF), Hierro Galvanizado (HG), Hormigón Armado (LJ) y Cloruro de Polivinilo (PVC).

A continuación, se muestra una tabla con la longitud de la red, distribuida de acuerdo al material de la tubería.

Tabla VII: Longitud de red, según materiales. Elaboración propia.

Material	Longitud (km)
PVC	629.58
AC	363.03
LJ	81.61
HD	65.38
HF	42.06
HG	14.53

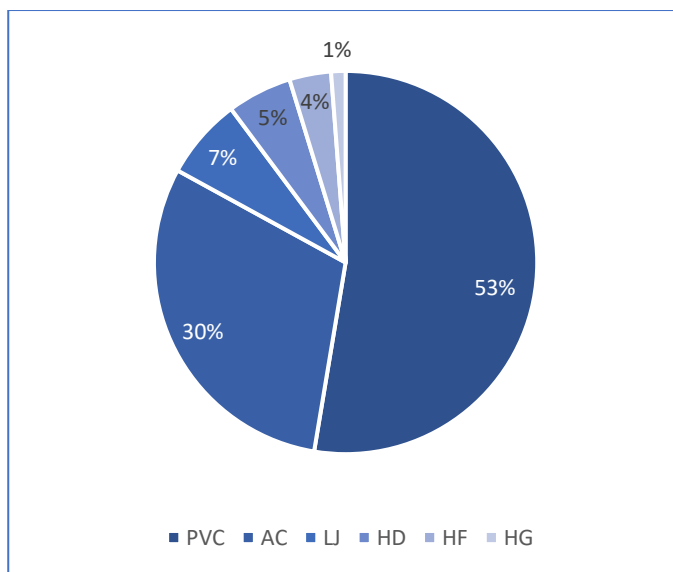
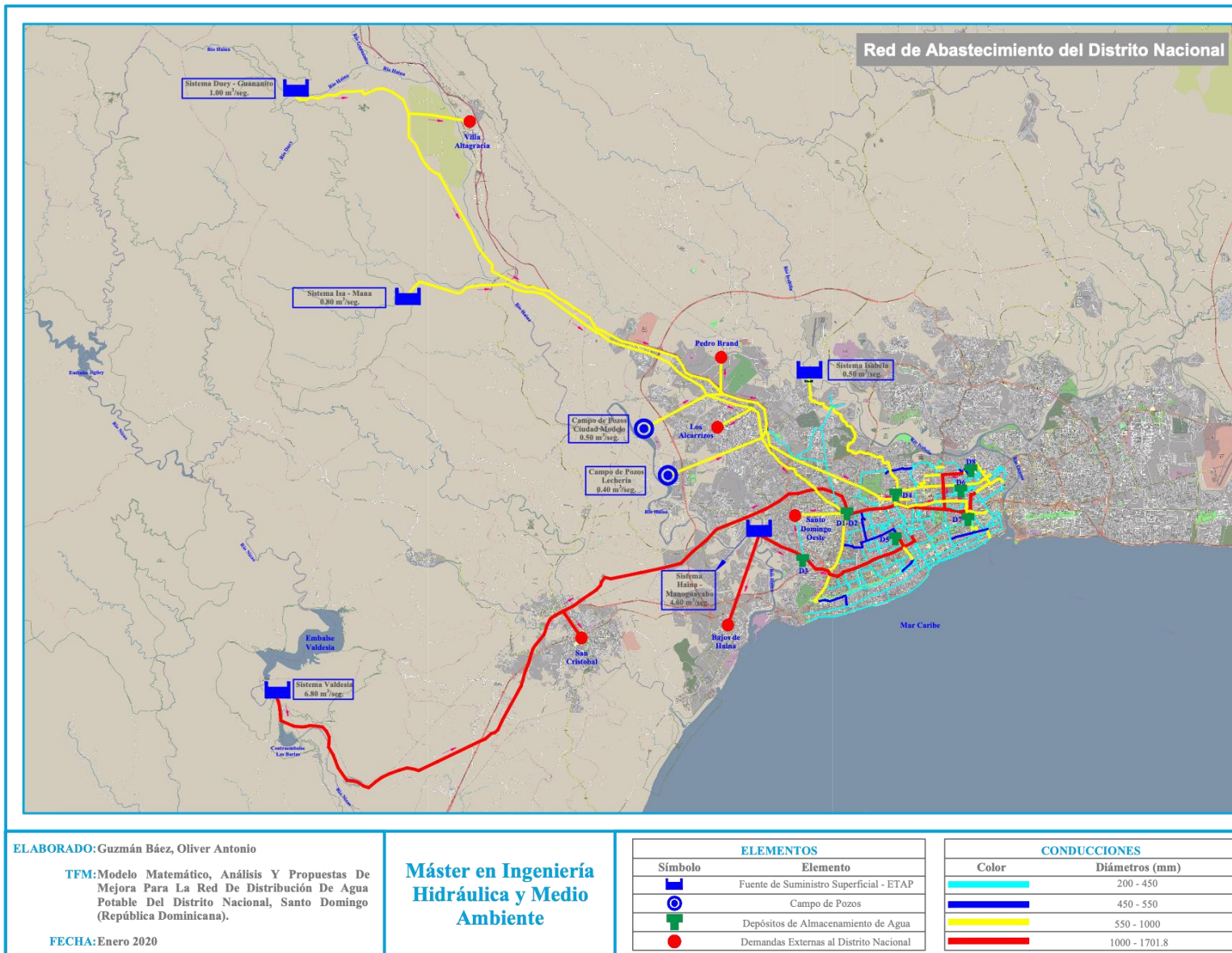


Figura X: Distribución de materiales. Elaboración propia.

En la figura X se presenta la distribución de los materiales, observándose que el 53% de la red es de PVC, mientras que el 30% es de Asbesto-Cemento (AC) y el 17% repartido entre los materiales restantes.

2.4.5 Esquema del Sistema



Capítulo 3: Marco Metodológico

TEMARIO

- 3.1 Introducción
- 3.2 Organización de la Información
- 3.3 Creación de la Estructura de la Red
- 3.4 Estimación de la Demanda
- 3.5 Estimación de Caudal Incontrolado o Fugado
- 3.6 Modulación de la Demanda
- 3.7 Finalización del Modelo



3 Marco Metodológico

3.1 Introducción

Para poder describir y predecir, con rapidez y precisión, el comportamiento de una red de distribución de agua potable, es preciso disponer de un modelo hidráulico, creado a partir de información veraz y actual.

En la figura XI, se muestran las fases de elaboración del modelo:

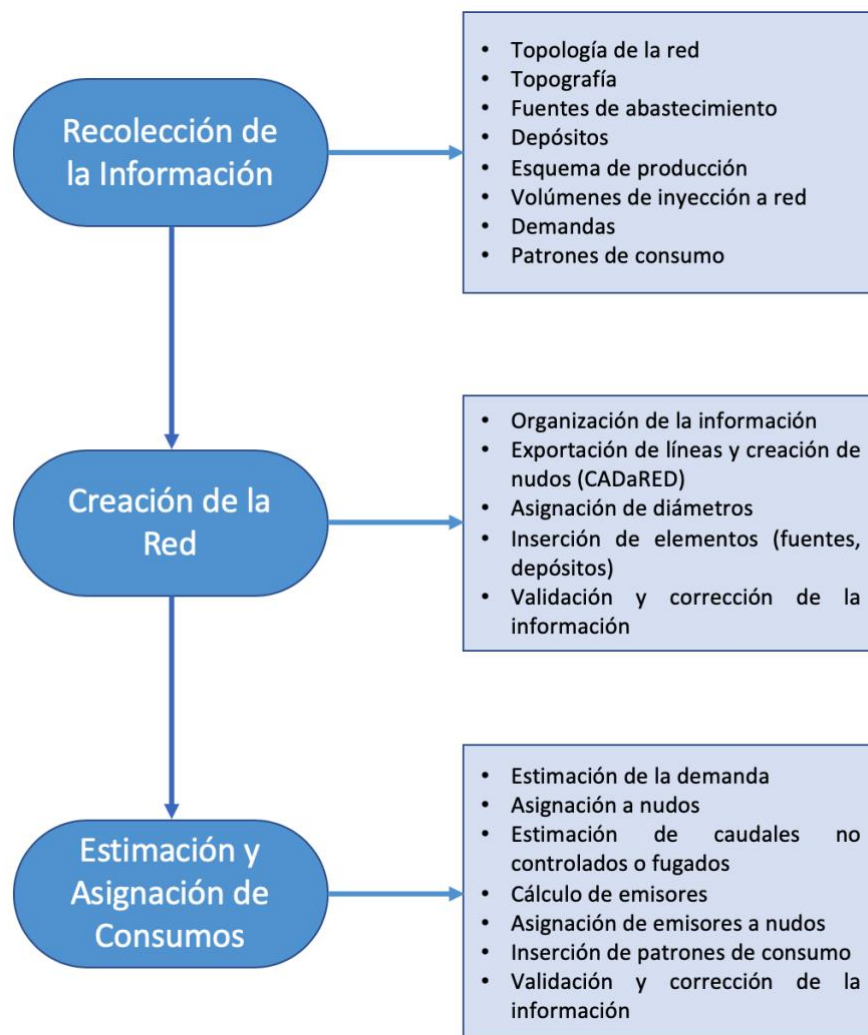


Figura XI: Fases de elaboración del modelo. Elaboración propia.

- **Recolección de la información:** Se ha recolectado toda la información disponible; topología de la red, topografía, fuentes de abastecimiento, volúmenes de producción y depósitos; esto ha sido descrito en el capítulo 2, punto 2.4. Las demandas y patrones de consumo no son datos disponibles, por lo que se obtendrán mediante estimación.
- **Creación de la red:** Luego de agrupar y organizar la información obtenida, se crean las líneas y nudos del modelo, mediante exportación CADaRED, se insertan los

diámetros y luego se insertan las fuentes de abastecimiento y depósitos. En este punto ya el modelo posee información suficiente para ser ejecutado. Se ejecuta y valida su funcionamiento.

- **Estimación y asignación de consumos:** Debido a la ausencia de medición en la red, la demanda es desconocida y por lo tanto se estima en base a la población, además, se estima el caudal de agua incontrolado o fugado, para luego proceder a calcular emisores que permiten modelar las fugas como dependientes de la presión. Estos datos, junto a los patrones de consumo obtenidos de una ciudad con características similares, se insertan al modelo. Se ejecuta y valida su funcionamiento.

|| 3.2 Organización de la Información

La información para la confección del modelo hidráulico (herramienta base para todo nuestro análisis) ha sido obtenida de maneras diversas, no siempre accediendo a todos los datos deseados, pero si a los suficientes como para poder realizar aproximaciones realistas.

La topología de la red de agua potable fue obtenida de (García, 2014), en formato DWG. En el archivo de AutoCAD se encontraban los diámetros y materiales de las tuberías, agrupados por capas, cada capa representaba un diámetro y material determinado y agrupaba una serie de conducciones. Además, se tuvo acceso a los datos topográficos.

Con estos archivos se obtuvo la información necesaria para tener una red funcional, con nodos, cotas, tuberías y sus respectivos diámetros.

Luego, según datos obtenidos de (CAASD, 2018), se identificaron los diferentes sistemas de abastecimiento y su capacidad máxima y media de producción. Esta información ha sido el único dato de volúmenes de agua inyectados a red, debido a la ausencia de macromedición.

Nuevamente, de (García, 2014) y con la confirmación de imágenes satelitales, se obtuvo la información de los tanques de almacenamiento; dimensiones, ubicación y funcionamiento.

Los datos de demandas, fugas y modulación de la demanda, fueron estimados para poder completar el modelo.

|| 3.2.1 Balance Hídrico del Sistema

Este balance es fundamental para la evaluación de pérdidas de agua del sistema, lo que define su nivel de rendimiento. Se deben conocer los aportes y consumos en la red (entradas y salidas), preferiblemente mediante contadores, instalados en los puntos de inyección y en las viviendas de cada abonado (IWA, 2018).

En el caso del Distrito Nacional, no existe información de entradas y salidas de agua, debido a la ausencia de contadores. Por esto, se requiere la estimación de los volúmenes de agua inyectados, consumidos y fugados.

A continuación, se muestra una figura que define las entradas y salidas de un sistema de abastecimiento de agua, según los criterios de la Asociación Internacional de Agua (IWA).

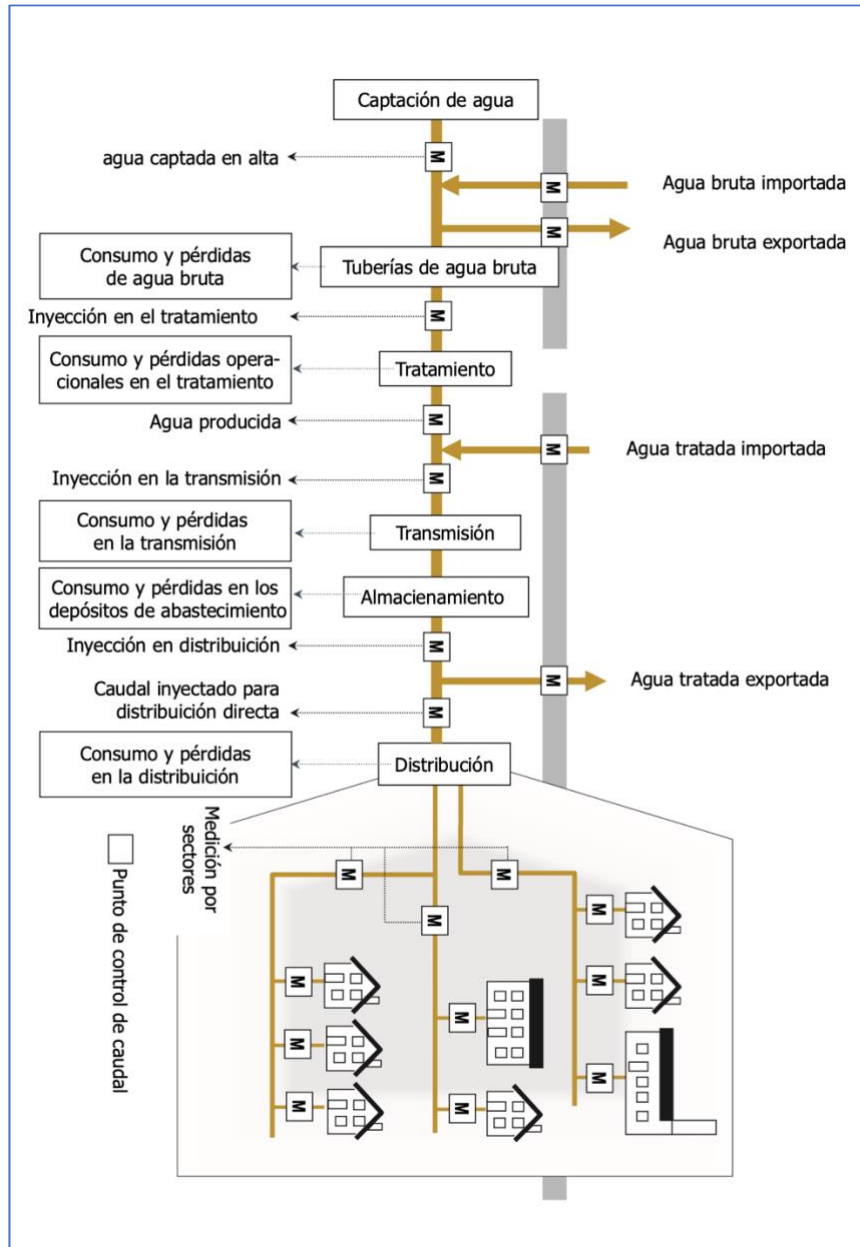


Figura XII: Definición de las entradas y salidas de un sistema de abastecimiento de agua (IWA, 2018).

A partir del dato, proporcionado por la CAASD, de que el agua no registrada representa el 60%, se infiere que el rendimiento del sistema es del 40%. Según la clasificación de la gestión de un abastecimiento en función de su rendimiento global N_s , se le clasifica de “inaceptable”, como se muestra en la tabla VIII.

Tabla VIII: Clasificación de la gestión de un abastecimiento en función de N_s (Cabrera et al., 1999).

Rango	Clasificación
$N_s > 0.9$	Excelente
$0.8 < N_s < 0.9$	Muy bueno
$0.7 < N_s < 0.8$	Bueno
$0.6 < N_s < 0.7$	Regular
$0.5 < N_s < 0.6$	Malo
$N_s < 0.5$	Inaceptable

3.2.2 Inyección de Agua a la Red

El volumen de agua inyectada se asume a partir de la producción media de los sistemas de abastecimiento. Como la aportación no es exclusiva al Distrito Nacional, más adelante en el apartado de estimación de la demanda, serán incluidos consumos externos que tienen origen antes de la entrada del caudal a la zona de estudio.

De (CAASD, 2019b) se obtuvo la producción de agua en cada fuente de suministro, por mes y año, desde octubre 2016 hasta agosto 2019. A partir de estos datos, se realizó un promedio global, este promedio representa el caudal aportado por cada fuente.

La capacidad de producción de agua máxima y promedio, según la fuente, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla IX: Caudales inyectados a la red. Elaboración propia.

Fuente de Suministro	Capacidad Instalada (LPS)	Caudal Promedio Inyectado a Red (LPS)
Valdesia	6,800	6,449
Haina-Manoguayabo	4,000	2,496
Duey-Guananito	1,000	842
Isabela	500	221
Isa-Mana	800	542
Campo de Pozos Lechería	400	125
Campo de Pozos Ciudad Modelo	500	111
	14,000	10,786

Considerando la población (según censo del 2010) del Distrito Nacional (965,040 habitantes) y de las demás zonas que se abastecen de las mismas fuentes; San Cristóbal (216,875 habitantes), Bajos de Haina (83,582 habitantes), Santo Domingo Oeste (363,321 habitantes), Los Alcarrizos (206,557 habitantes), Pedro Brand (40,970 habitantes) y Villa Altagracia (53,576 habitantes); podemos tener una idea de los niveles de consumo por habitante, asumiendo que se suple a todos de igual manera.

Tabla X: Aproximación de consumo por habitante (2010). Elaboración propia.

Reglón	Caudal
Inyección promedio a red	10,785.6 LPS
Inyección promedio a red	931,873,854 litros/día
Número de habitantes	1,929,921 habitantes
Consumo por habitante	483 L/hab./día

En la tabla X se muestra el consumo por habitante, resultando una dotación bruta de 483 L/hab./día. Esta dotación es excesiva y se encuentra fuera de todos los parámetros regulares, lo que demuestra que la gestión del abastecimiento en función de su rendimiento es inaceptable.

3.3 Creación de la Estructura de la Red

3.3.1 Inicio de la Confección del Modelo

Se exportó el tramado de la red de formato DWG a EPANET, utilizando la extensión CADaRED. Las conducciones se importaron a EPANET con el nombre de cada capa (que poseía los materiales y diámetros) como una etiqueta. Posteriormente, utilizando la extensión “Editor” y una hoja de cálculos, se introdujeron los diámetros a cada tubería, extraídos desde la etiqueta de cada línea.

Con esto se logró convertir un dibujo de líneas tridimensionales, en una red de tuberías y nudos, con diámetros y elevaciones, respectivamente.

Luego, se procedió a insertar un mapa de fondo a escala, de esta manera se ubicaron las fuentes de abastecimiento, sus conexiones y los sistemas de bombeo, en los casos que fueron necesarios.

Los depósitos, ya con dimensiones conocidas, de igual manera fueron ubicados e insertados a la red.

En esta primera etapa ya la estructura del sistema esta completa y disponible para ejecutarlo y poder validar su funcionamiento. El siguiente paso es el análisis de los datos a introducir en el modelo.

3.3.2 Esquema de Producción

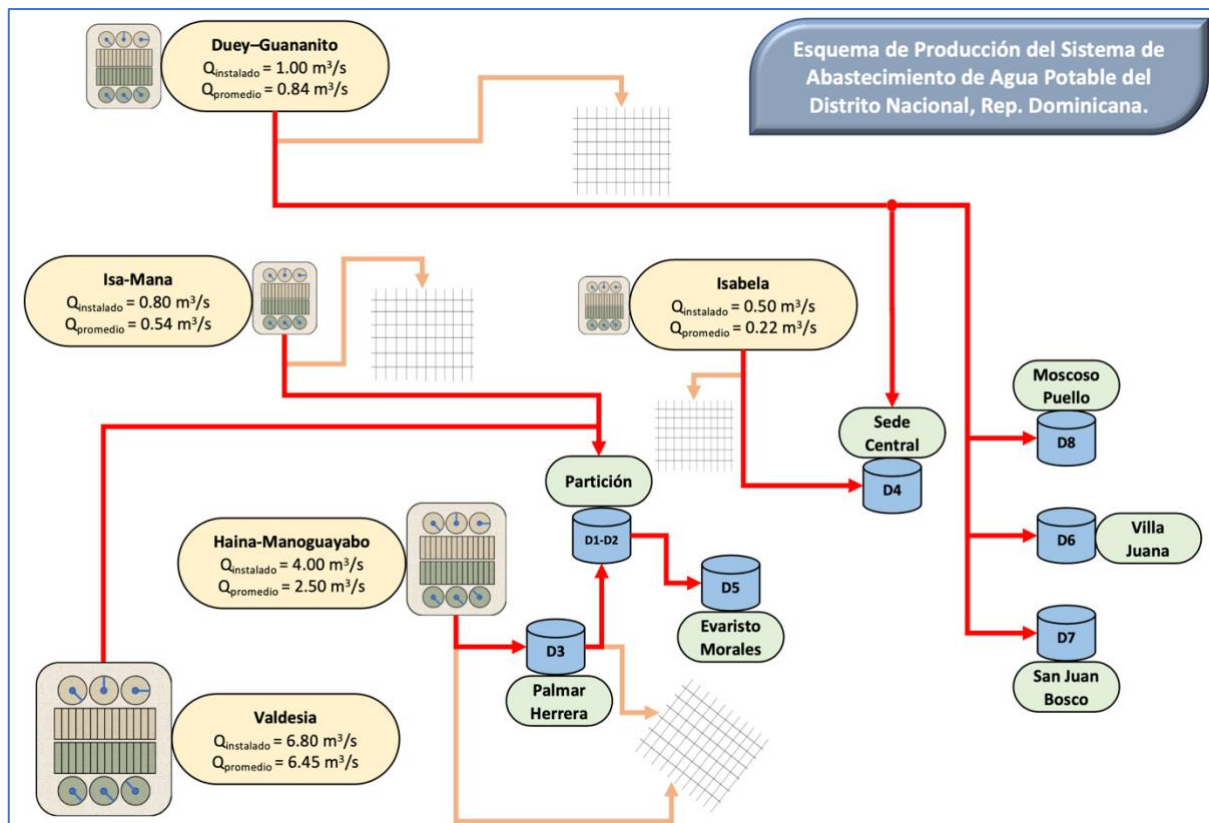


Figura XIII: Esquema de producción del sistema de abastecimiento de agua potable del Distrito Nacional. Elaboración propia.

En la figura XIII, se muestra el esquema de producción del sistema de abastecimiento de agua potable del Distrito Nacional. Los depósitos de Partición, Palmar de Herrera y Evaristo Morales, son abastecidos de Valdesia, Haina-Manoguayabo e Isa Mana. Los depósitos de Sede Central, Moscoso Puello, Villa Juana y San Juan Bosco, son abastecidos de Duey Guanaito e Isabela.

3.3.3 Resumen del Modelo

A continuación, se muestra una tabla resumen de los elementos que componen el modelo:

Tabla XI: Resumen de los elementos que componen la red. Elaboración propia.

Elemento	Cantidad
Fuentes	7.00
Depósitos	8.00
Nudos	7,767.00
Tuberías	11,726.00
Longitud Total (km)	1,196.20

Finalmente, la red se muestra de la siguiente manera:



Figura XIV: Estructura de la red. Elaboración propia.

3.4 Estimación de la Demanda

El volumen de agua consumido o demandado por la población debe ser aproximado al volumen facturado, sin embargo, carecemos de esta información, por lo tanto, la demanda se estimó. La estimación fue en base a la población, según los datos del último censo realizado (2010), del cual se obtuvo la población por barrios y a esta se le asignó una dotación en litros por habitante por día; y de acuerdo a los hoteles, hospitales, mercados, empresas e instituciones de mayor relevancia dentro del territorio estudiado.

3.4.1 Dotación

Según el Reglamento Técnico para Diseño de Obras e Instalaciones Hidro-Sanitario (INAPA, 2018), las dotaciones por tipo de proyecto deben ser las siguientes:

Tabla XII: Dotación según tipo de proyecto (INAPA, 2018).

Tipo	Dotación
Apartamentos Urbanos	250 L/habitante/día
Hoteles Urbanos	500 L/habitación/día
Hospitales	800 L/cama/día
Mercados	15 L/m ² /día
Pequeña y Mediana Empresa	12.96 L/m ² /día
Institucional	8.64 L/m ² /día

3.4.2 Demandas

Las demandas serán estimadas de acuerdo a cada tipo de proyecto y luego se presentará un resumen de los caudales obtenidos.

3.4.2.1 Demanda Residencial

La demanda residencial la hemos dividido en dos renglones. El primero pertenece a la parte que se encuentra fuera de la zona de estudio, pero tiene incidencia en la misma, debido a que comparten las fuentes de abastecimiento (Demanda Residencial Externa); y el segundo pertenece al Distrito Nacional (Demanda Residencial del Distrito Nacional).

3.4.2.1.1 Demanda Residencial Externa

Esta demanda ha sido calculada en base a una dotación global de 400 L/hab./día, incluyendo una dotación base de 250 L/hab./día y un 60% de caudal incontrolado o fugado. Se ha realizado así, debido a que estas zonas no se encuentran dentro del área de estudio y los consumos se representarán en un único nudo.

Tabla XIII: Demanda residencial externa. Elaboración propia.

Municipio	Habitantes (2010)	Dotación L/hab./día	Demanda LPS
San Cristóbal	216,875	400	1,004
Bajos de Haina	83,582	400	387
Santo Domingo Oeste	363,321	400	1,682
Los Alcarrizos	206,557	400	956
Pedro Brand	40,970	400	190
Villa Altagracia	53,576	400	248
Total	964,881		4,467

3.4.2.1.2 Demanda Residencial del Distrito Nacional

La dotación utilizada fue de 250 L/hab./día, como es recomendado (para apartamentos urbanos) en el Reglamento Técnico para Diseño de Obras e Instalaciones Hidro-Sanitario (INAPA, 2018) y mostrado en la tabla XII, excepto en 16 de los barrios más pobres, según (Morillo, 2014), que debido al tamaño y nivel de equipamiento de sus estructuras, fue reducido a 150 L/hab./día.

3.4.2.1.2.1 Circunscripción 1

A continuación, se muestran las demandas residenciales de cada barrio de la circunscripción 1.

Tabla XIV: Demanda residencial, Circunscripción 1. Elaboración propia.

Barrio	Habitantes (2010)	Dotación L/hab./día	Demanda LPS
Parque Mirador Sur	95	250	0.27
Centro de los Héroes	62	250	0.18
Miraflores	1,066	250	3.08
Tropical Metaldom	2,502	250	7.24
Ciudad Universitaria	8,112	250	23.47
Gazcue	12,574	250	36.38
La Esperilla	6,813	250	19.71
Mirador Sur	3,277	250	9.48
Piantini	9,957	250	28.81
Ciudad Colonial	8,477	250	24.53
Ensanche Naco	11,106	250	32.14
La Julia	6,205	250	17.95
Los Prados	9,664	250	27.96
Los Cacicazgos	7,098	250	20.54
San Juan Bosco	2,973	250	8.60
El Millón	9,137	250	26.44
Bella Vista	15,604	250	45.15
Renacimiento	9,372	250	27.12
Miramar	8,499	250	24.59
Ciudad Nueva	2,587	250	7.49
Paraíso	4,375	250	12.66
Mirador Norte	6,407	250	18.54
San Gerónimo	12,957	250	37.49
Julieta Morales	14,856	250	42.99
General Antonio Duvergé	4,385	250	12.69

Barrio	Habitantes (2010)	Dotación L/hab./día	Demanda LPS
Cacique	7,678	250	22.22
Los Restauradores	15,554	250	45.01
Honduras del Oeste	9,264	250	26.81
Honduras del Norte	9,773	250	28.28
Atala	3,724	250	10.78
Ensanche Quisqueya	24,850	250	71.90
Jardines del Sur	8,789	250	25.43
Mata Hambre	5,530	250	16.00
30 de Mayo	5,948	250	17.21
Nuestra Señora de la Paz	6,055	250	17.52
San Carlos	9,158	250	26.50
Buenos Aires Mirador	25,878	250	74.88
Centro Olímpico	99	250	0.29
Total	310,460		898

3.4.2.1.2.2 Circunscripción 2

A continuación, se muestran las demandas residenciales de cada barrio de la circunscripción 2.

Tabla XV: Demanda residencial, Circunscripción 2. Elaboración propia.

Barrio	Habitantes (2010)	Dotación L/hab./día	Demanda LPS
Jardín Zoológico	19	250	0.05
Jardín Botánico	271	250	0.78
San Diego	240	150	0.42
La Hondonada	1,317	150	2.29
Cerros de Arroyo Hondo	3,258	250	9.43
Arroyo Manzano	5,894	250	17.05
La Isabela	6,121	250	17.71
Altos de Arroyo Hondo	19,676	250	56.93
Viejo Arroyo Hondo	14,269	250	41.29
Los Jardines	15,996	250	46.28
Nuevo Arroyo Hondo	30,784	150	53.44
Ensanche la Fe	19,113	250	55.30
Palma Real	38,865	150	67.47
Puerto Isabela	3,543	150	6.15
Los Paralejos	14,220	250	41.15
Los Ríos	43,001	250	124.42
Cristo Rey	57,084	150	99.10
La Agustina	20,317	250	58.79
Total	293,988		698

3.4.2.1.2.3 Circunscripción 3

A continuación, se muestran las demandas residenciales de cada barrio de la circunscripción 3.

Tabla XVI: Demanda residencial, Circunscripción 3. Elaboración propia.

Barrio	Habitantes (2010)	Dotación L/hab./día	Demanda LPS
La Zurza	22,545	150	39
Villas Agrícolas	26,866	150	47

Barrio	Habitantes (2010)	Dotación L/hab./día	Demanda LPS
Villa Juana	31,070	250	90
Villa Consuelo	19,425	250	56
Ensanche Luperón	13,763	250	40
Ensanche Capotillo	34,738	150	60
Simón Bolívar	25,406	150	44
24 de Abril	16,870	150	29
Ensanche Espaillat	16,841	250	49
María Auxiliadora	38,805	150	67
Mejoramiento Social	28,225	150	49
Villa Francisca	20,010	150	35
Domingo Savio	44,867	150	78
Gualey	21,161	150	37
Total	360,592		720

3.4.2.2 Demanda Hoteles

Se incluyeron en este análisis los hoteles de más de 80 habitaciones, ubicados dentro del Distrito Nacional, asignándoles una dotación de 500 L/habitación/día, de acuerdo a su categoría de hoteles urbanos, como se muestra en la tabla XII sobre dotaciones según tipo de proyecto. Los resultados son los siguientes:

Tabla XVII: Demanda hoteles. Elaboración propia.

Hotel	Barrio	Habitaciones	Dotación L/habitación/día	Demanda LPS
W&P Santo Domingo	Bella Vista	88	500	0.51
El Embajador, a Royal Hideaway Hotel	Bella Vista	293	500	1.70
Catalonia Santo Domingo	Ciudad Universitaria	182	500	1.05
Radisson Hotel Santo Domingo	Ensanche Naco	175	500	1.01
Embassy Suites by Hilton Santo Domingo	Ensanche Naco	120	500	0.69
Ramada by Wyndham Princess Santo Domingo	Ensanche Quisqueya	95	500	0.55
Renaissance Sto. Domingo Jaragua Hotel & Casino	Gazcue	300	500	1.74
Sheraton Santo Domingo	Gazcue	263	500	1.52
Courtyard by Marriott Santo Domingo	La Esperilla	143	500	0.83
Dominican Fiesta Hotel y Casino	Los Caciczagos	193	500	1.12
Barceló Santo Domingo	Miraflores	202	500	1.17
JW Marriott Hotel Santo Domingo	Piantini	150	500	0.87
InterContinental Real Santo Domingo	Piantini	256	500	1.48
Holiday Inn Santo Domingo Hotel & Suites	Piantini	296	500	1.71

3.4.2.3 Demanda Hospitales

Se incluyeron los hospitales con más de 40 camas, dentro del territorio estudiado, asignándoles una dotación de 800 L/cama/día, como se muestra en la tabla XII sobre dotaciones según tipo de proyecto. Los resultados son los siguientes:

Tabla XVIII: Demanda hospitales. Elaboración propia.

Hospital	Barrio	Camas	Dotación L/cama/día	Demanda LPS
Hospital Robert Reid Cabral	Centro de Los Héroeos	350	800	3.24
Hospital General de la Policía	Ciudad Universitaria	60	800	0.56

Hospital	Barrio	Camas	Dotación L/cama/día	Demanda LPS
Hospital General Plaza de la Salud	Ensanche La Fe	285	800	2.64
CEDIMAT	Ensanche La Fe	180	800	1.67
Hospital Moscoso Puello	Ensanche Luperón	196	800	1.81
Hospital Central de las Fuerzas Armadas	Ensanche Naco	235	800	2.18
Hospiten	La Esperilla	57	800	0.53
Ciudad Sanitaria Luis Eduardo Aybar (Construcción)	Mejoramiento Social	600	800	5.56
Hospital Dr. Félix María Goico	Villa Consuelo	40	800	0.37

3.4.2.4 Demanda Industrial

Las demandas industriales son difíciles de estimar, debido a que cada industria exige caudales muy particulares, de acuerdo a lo que producen y a sus niveles de desarrollo tecnológico, sin embargo, hemos utilizado como parámetro una dotación para pequeñas y medianas empresas de acuerdo al área ocupada, como se muestra en la tabla XII sobre dotaciones según tipo de proyecto. Los resultados son los siguientes:

Tabla XIX: Demanda industrial. Elaboración propia.

Industria	Barrio	Área (m ²)	Dotación L/m ² /día	Demanda LPS
Ciudad Ganadera (Mercado)	30 de Mayo	118,000	15.00	20.49
Cervecería Presidente	30 de Mayo	195,000	12.96	29.25
Coca Cola	Centro de Los Héroes	62,000	12.96	9.30
Industrias Varias	Cristo Rey	190,000	12.96	28.50
Metaldom	Tropical Metaldom	184,000	12.96	27.60
Ambev Dominicana	Viejo Arroyo Hondo	60,000	12.96	9.00
Industrias Varias	Villas Agrícolas	100,000	12.96	15.00

3.4.2.5 Demanda Institucional

Se han identificado las instituciones públicas de mayor dimensión y se ha estimado su demanda de acuerdo a una dotación por unidad de área, como se muestra en la tabla XII sobre dotaciones según tipo de proyecto. Los resultados son los siguientes:

Tabla XX: Demanda institucional. Elaboración propia.

Institucional	Barrio	Área (m ²)	Dotación L/m ² /día	Demanda LPS
Centro de los Héroes	Centro de Los Héroes	30,000	8.64	3.00
Ministerio de Relaciones Exteriores	Ciudad Universitaria	12,000	8.64	1.20
Banco Agrícola	Ciudad Universitaria	4,000	8.64	0.40
Universidad Autónoma de Santo Domingo	Ciudad Universitaria	400,000	8.64	40.00
Ministerio de Cultura	Gazcue	4,000	8.64	0.40
Palacio Nacional	Gazcue	42,000	8.64	4.20
Edificios de Oficinas Gubernamentales	Gazcue	20,000	8.64	2.00
Ministerio de Medio Ambiente	Honduras del Norte	5,000	8.64	0.50
Ministerio de Agricultura	Los Jardines	6,000	8.64	0.60
Ministerio de las Fuerzas Armadas	Renacimiento	100,000	8.64	10.00

3.4.2.6 Resumen de Demandas (2010)

Las demandas estimadas suman 7,019 litros por segundo, siendo la demanda residencial la más representativa de todas, como se muestra a continuación:

Tabla XXI: Resumen de demandas (2010). Elaboración propia.

Tipo	Demanda LPS
Residencial	6,783
Hoteles	16
Hospitales	19
Industrial	139
Institucional	62
Total	7,019

3.4.2.7 Estimación de Demandas Actuales, en Base a Proyecciones para 2020

Para las demandas actuales se realizó, nuevamente, el proceso anteriormente descrito, pero esta vez con una proyección de la población. Esta proyección fue obtenida de la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) y refleja un aumento de la población del Distrito Nacional de 965,040 a 1,043,186 habitantes, aproximadamente, además del crecimiento en las poblaciones de las zonas externas, lo que se reflejará en un aumento del consumo, como se muestra a continuación:

Tabla XXII: Estimación de demandas (2020). Elaboración propia.

Demanda	Demanda 2020 LPS
Residencial	8,803
Hoteles	16
Hospitales	19
Industrial	139
Institucional	62
Total	9,039

El aumento para 2020 ha sido de 2,019 LPS, lo que representa un 28.77% de incremento, respecto a la demanda base del 2010.

3.4.3 Asignación de la Demanda a Nudos

Según su ubicación, los nudos fueron etiquetados con códigos que van desde B01 hasta B70, estos códigos representan cada uno de los barrios. Esto quiere decir que todos los nudos de un mismo barrio poseen una misma etiqueta.

De esta forma se contaron los nudos en cada barrio y se dividió la demanda base del barrio entre la cantidad de nudos. Luego, se ingresó este valor de demanda (ya reducido) a cada nudo del barrio, realizándose una repartición igualitaria.

- Por ejemplo:

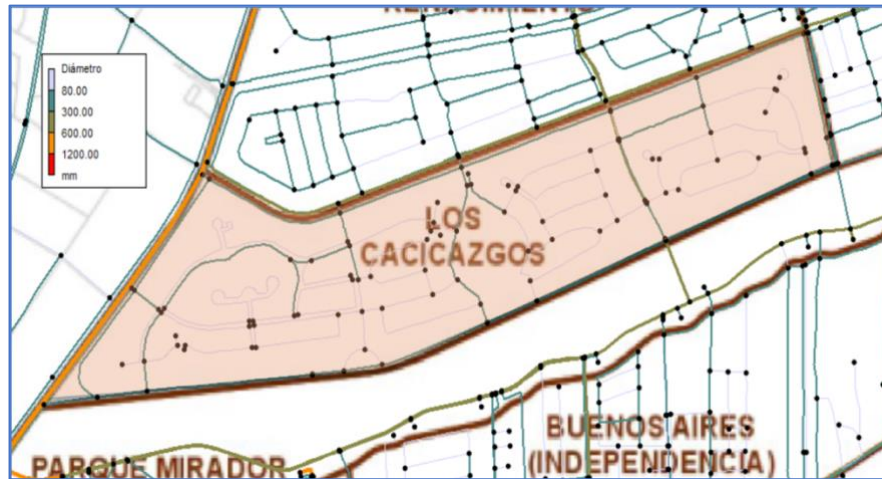


Figura XV: Nudos en Barrio Los Cacicazgos. Elaboración propia.

El código B10 representa al Barrio Los Cacicazgos, este barrio posee 76 nudos y una demanda de 23.23 LPS en 2020. Este caudal fue repartido, por lo que cada nudo del barrio posee una demanda base de 0.31 LPS.

A continuación, se muestra una tabla con la distribución de la demanda a cada nudo de cada barrio:

Tabla XXIII: Asignación de demandas a nudos. Elaboración propia.

Código	Barrio / Municipio	Demanda Total 2020 (LPS)	Cantidad de Nudos	Demanda por Nudo (LPS)
PH	Puerto Haina	50.00	1	50.00
B01	Los Peralejos	44.30	1	44.30
B02	Palma Real	72.65	1	72.65
B03	Arroyo Manzano	18.36	1	18.36
B04	Altos de Arroyo Hondo	61.30	1	61.30
B05	Los Ríos	133.98	10	13.40
B06	Puerto Isabela	6.62	1	6.62
B07	Honduras del oeste	28.86	51	0.57
B08	Honduras del Norte	30.95	555	0.06
B09	Parque Mirador Sur	0.30	10	0.03
B10	Los Cacicazgos	23.23	76	0.31
B11	Renacimiento	39.20	107	0.37
B12	Los Restauradores	48.46	100	0.48
B13	San Gerónimo	40.37	137	0.29
B14	Los Jardines	50.44	127	0.40
B15	Jardín Botánico	0.84	1	0.84
B16	Nuevo Arroyo Hondo	57.55	89	0.65
B17	Cerros de Arroyo Hondo	10.15	1	10.15
B18	Viejo Arroyo Hondo	53.46	179	0.30
B19	Paraíso	13.63	22	0.62
B20	Julieta Morales	46.29	117	0.40
B21	Los Prados	30.11	166	0.18
B22	El Millón	28.47	120	0.24

Código	Barrio / Municipio	Demanda Total 2020 (LPS)	Cantidad de Nudos	Demanda por Nudo (LPS)
B23	Mirador Norte	19.96	54	0.37
B24	Mirador Sur	10.21	81	0.13
B25	Buenos Aires Mirador	80.63	89	0.91
B26	Miramar	26.48	72	0.37
B27	Tropical Metaldom	35.40	54	0.66
B28	Jardines del Sur	27.38	33	0.83
B29	Atala	11.60	27	0.43
B30	Bella Vista	50.82	140	0.36
B31	Quisqueya	77.97	155	0.50
B32	Piantini	35.08	209	0.17
B33	La Julia	19.33	49	0.39
B34	Nuestra Señora de la Paz	18.87	22	0.86
B35	General Antonio Duvergé	13.66	46	0.30
B36	30 de Mayo	68.27	23	2.97
B37	Cacique	23.92	70	0.34
B38	Centro de los Héroes	15.73	20	0.79
B39	Mata Hambre	17.23	38	0.45
B40	Ciudad Universitaria	68.48	197	0.35
B41	La Esperilla	22.59	55	0.41
B42	Ensanche Naco	38.48	169	0.23
B43	Centro Olímpico	0.31	2	0.15
B44	La Fe	63.86	152	0.42
B45	La Agustina	63.30	56	1.13
B46	Cristo Rey	135.21	126	1.07
B47	Jardín Zoológico	0.06	1	0.06
B48	La Zurza	42.15	5	8.43
B49	Villas Agrícolas	65.22	130	0.50
B50	Villa Juana	96.80	169	0.57
B51	Miraflores	4.49	44	0.10
B52	San Juan Bosco	9.26	67	0.14
B53	Gazcue	49.04	302	0.16
B54	Ciudad Nueva	8.06	32	0.25
B55	San Carlos	28.53	37	0.77
B56	Villa Consuelo	60.89	210	0.29
B57	Ensanche Luperón	44.69	149	0.30
B58	Ensanche Capotillo	64.94	89	0.73
B59	Simón Bolívar	47.49	90	0.53
B60	24 de Abril	31.54	47	0.67
B61	Ensanche Espaillat	52.47	78	0.67
B62	María Auxiliadora	72.54	31	2.34
B63	Mejoramiento Social	58.32	137	0.43
B64	Villa Francisca	37.41	119	0.31
B65	Ciudad Colonial	26.41	140	0.19
B66	Domingo Savio	83.87	3	27.96
B67	Gualey	39.56	76	0.52
B68	La Isabela	19.07	1	19.07
B69	La Hondonada	2.46	1	2.46
B70	San Diego	0.45	1	0.45

Código	Barrio / Municipio	Demanda Total 2020 (LPS)	Cantidad de Nudos	Demanda por Nudo (LPS)
SC	San Cristóbal	1205.24	1	1205.24
BH	Bajos de Haina	643.08	1	643.08
SDO	Santo Domingo Oeste	2058.71	1	2058.71
LA	Los Alcarrizos	1545.54	1	1545.54
PB	Pedro Brand	419.37	1	419.37
VA	Villa Altagracia	436.57	1	436.57

3.5 Estimación del Caudal Incontrolado o Fugado

El caudal fugado será considerado como dependiente de la presión, introduciéndose a EPANET mediante emisores. Los emisores permiten modelizar un flujo de salida, con descarga a la atmósfera (Martínez Solano, 2018).

$$q_j = C_{emisor,j} (P_j)^n$$

Donde:

- q_j = Caudal de agua no registrada en el nudo j [l/s].
- $C_{emisor,j}$ = Coeficiente emisor en el nudo j [(l/s)/m].
- P_j = Presión media en el nudo j [m].
- n = Exponente emisor [0.5].

El exponente emisor suele variar entre 0.5 y 1.5, guardando cierta relación con el número de Reynolds, según el flujo sea laminar o turbulento.

Según (Conejos Fuertes, 2015); las fugas pequeñas (régimen laminar) son muy sensibles a la presión, variando con un exponente superior a 0.5; y a mayores fugas (régimen turbulento) se torna más insensible a las variaciones de presión. Esto explica que en un abastecimiento (como el nuestro) con elevado volumen de fugas, el caudal global fugado sea menos sensible a las variaciones de presión, acercándose el exponente al valor de 0.5, valor elegido para esta estimación.

Partiendo de la información proporcionada por la CAASD, de que el agua no registrada representa aproximadamente el 60%, se procede al cálculo de los coeficientes emisores, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla XXIV: Cálculo de coeficientes emisores. Elaboración propia.

ID Nudo	Demanda Base LPS	Presión (m)	Q_{ANR} 60% Demanda Base LPS	Q_{TOTAL} LPS	$C_E = \frac{Q(ANR)}{p^{0.5}}$
N1	0.48	36.16	0.29	0.76	0.04739
N10	0.28	35.66	0.17	0.45	0.02823
N100	0.39	40.56	0.24	0.63	0.03702
...
...

Esta tabla posee todos los nudos de la red, con el caudal de agua no registrada (Q_{ANR}) como dato constante y dependiente de la demanda base para cada nudo, el exponente emisor como dato constante para todos los nudos (0.5) y con la presión como dato variable para cada nudo, según vaya cambiando de valor en el modelo.

La presión fue introduciéndose y recalculando el coeficiente emisor, hasta que, después de varias iteraciones, se obtuvo un error mínimo en el cálculo y fueron introducidos los emisores definitivos de cada nudo.

3.6 Modulación de la Demanda

Los consumos en los nudos, de cualquier red de distribución domiciliar, son variables en el tiempo y dicha variación se corresponde a las costumbres y estilo de vida de cada país, ciudad o sector. Por esta razón, en un modelo hidráulico se suele modificar la demanda en función de coeficientes, variables según la hora, el día de la semana o hasta la estación del año.

Debido a la falta de información en este aspecto, hemos utilizado un perfil de consumo promedio diario, para una población mixta de casas y apartamentos, obtenido de un estudio realizado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) para esta ciudad.

Tabla XXV: Coeficientes de consumo promedio diario (Garzón & Ortiz, 2014).

Rango Horario	00:00 - 04:00	04:00 - 09:00	09:00 - 12:00	12:00 - 18:00	18:00 - 00:00
Coefficiente	0.19	1.54	0.66	1.88	1.05

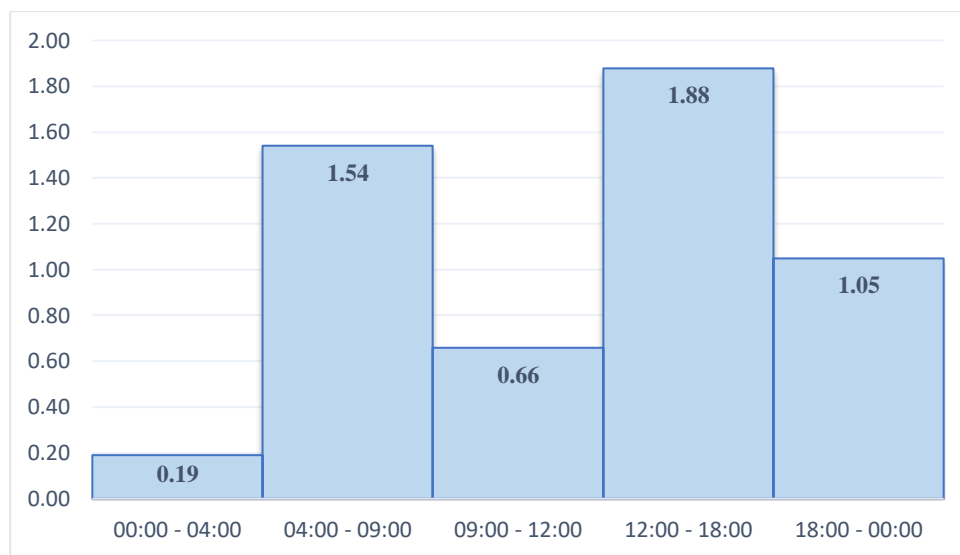


Figura XVI: Perfil de consumo promedio diario (Garzón & Ortiz, 2014).

3.7 Finalización del Modelo

Los datos, anteriormente estimados, fueron cargados al modelo y de inmediato se procedió a su validación, confirmando caudales entrantes y salientes.

Se hicieron correcciones en algunas conducciones principales, debido a que presentaban conexiones inconsistentes y se asumió que eran errores en la exportación de la red. Por ejemplo, una línea principal de 48 pulgadas, en la Av. 27 de febrero, presentaba tramos cortos de 6 y 8 pulgadas y fueron normalizados todos al diámetro correspondiente.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo:

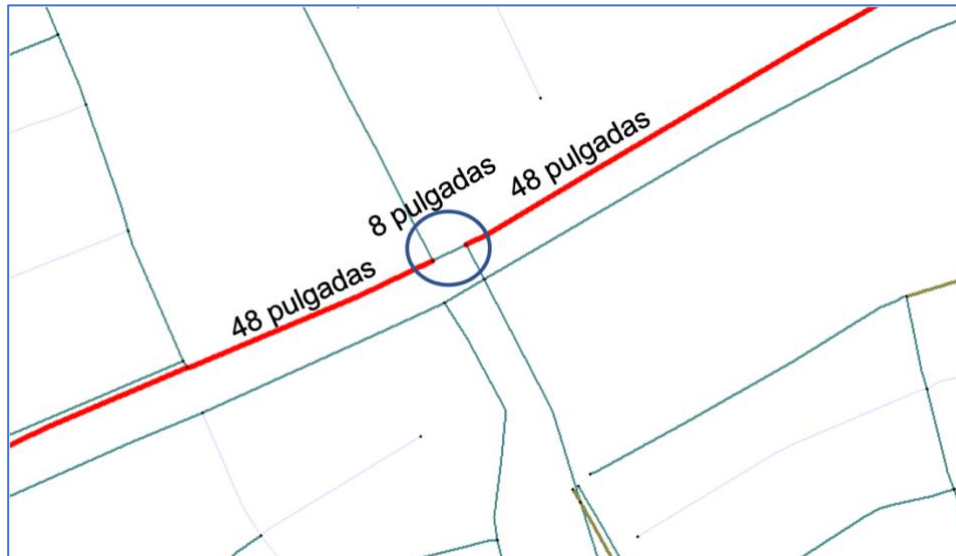


Figura XVII: Errores en el modelo. Elaboración propia.

Capítulo 4: Análisis y Diagnósticos

TEMARIO

- 4.1 Caudales Máximos
- 4.2 Análisis de Presiones
- 4.3 Análisis de Velocidades
- 4.4 Pérdidas de Carga Unitaria
- 4.5 Diagnóstico General



4 Análisis y Diagnósticos

Los análisis y diagnósticos que se realizarán, son en base al modelo hidráulico sin actuaciones propuestas, lo que representa la situación actual de la red, con consumos estimados para el 2020 y suponiendo que no existieran cortes en el suministro, porque a pesar de ser un abastecimiento intermitente, no contamos con los datos de la programación y la misma será evaluada y propuesta más adelante, en caso de necesitarse. El modelo construido posee; fuentes de abastecimiento, consumos en los nudos, depósitos de almacenamiento de agua, emisores para representación del caudal incontrolado, y modulación horaria de la demanda.

4.1 Caudales Máximos

Los caudales máximos en las conducciones nos ofrecen una idea del funcionamiento de la red, pudiendo observar cuáles son nuestras líneas principales, no sólo por su diámetro, también por el caudal transportado.

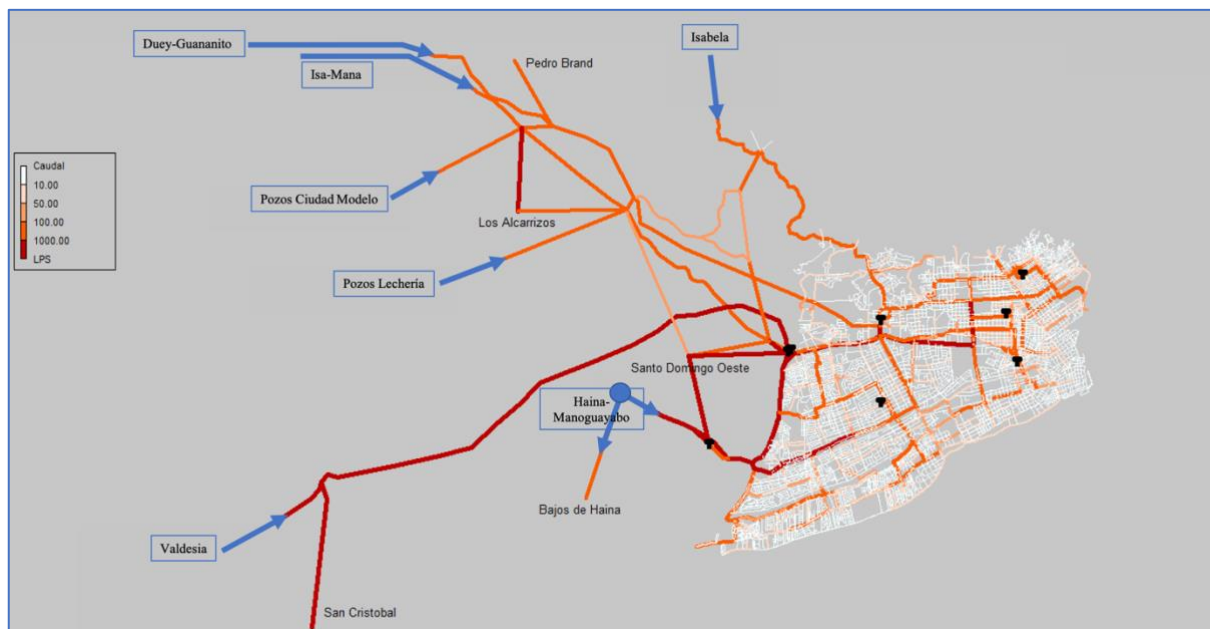


Figura XVIII: Caudales máximos en la red. Elaboración propia.

4.2 Análisis de Presiones

Se debe garantizar una presión mínima en los nudos de consumo, de manera que se asegure el suministro hasta una altura determinada. En el “Reglamento Técnico para Diseño de Obras e Instalaciones Hidro-Sanitario del INAPA” se recomienda que, en todo caso, la presión mínima residual de la red sea de 10 mca.

Por otro lado, se deben controlar las presiones máximas, debido a que estas arrastran una serie de inconvenientes como son; la elevación de los costos energéticos, roturas por sobrepresión o el aumento de los caudales fugados. En el “Reglamento Técnico para Diseño de Obras e Instalaciones Hidro-Sanitario del INAPA”, se recomienda una presión dinámica máxima de 50 mca y se permiten presiones estáticas de hasta 70 mca en puntos aislados, cuando las condiciones topográficas sean adversas.

4.2.1 Presiones Mínimas

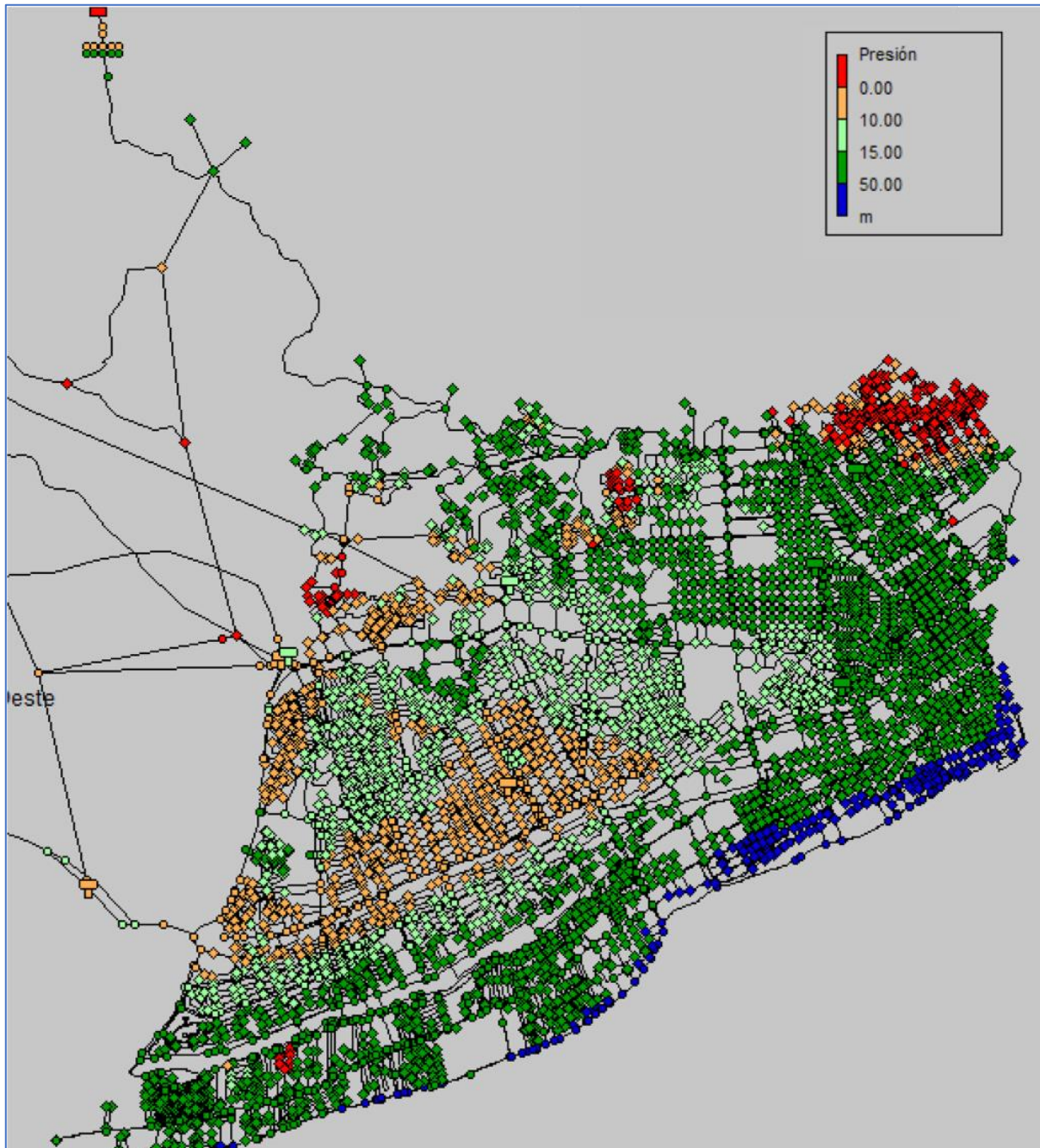


Figura XIX: Presiones mínimas. Elaboración propia.

En la figura XIX, se observan zonas con presiones negativas, lo que quiere decir que no se le está suministrando agua en ese momento, también se observan zonas con presiones por debajo de 10 mca, lo que incumple con la presión mínima recomendada.

Esto pudiera ser debido a una baja producción, a insuficiencia en la capacidad de almacenamiento, a baja elevación de los depósitos, a baja capacidad de transporte de la red, o a una combinación de estas. Más adelante se realizará un análisis más detallado sobre esto.

4.2.2 Presiones Máximas

Toda la zona que se encuentra a orillas del Mar Caribe presenta altas presiones, debido a las condiciones topográficas. Las presiones van desde los 50 mca hasta aproximadamente 80 mca.

De igual manera, esto ocurre en los márgenes de los ríos Ozama e Isabela, pero de forma más aislada, como se observa en la figura XX.

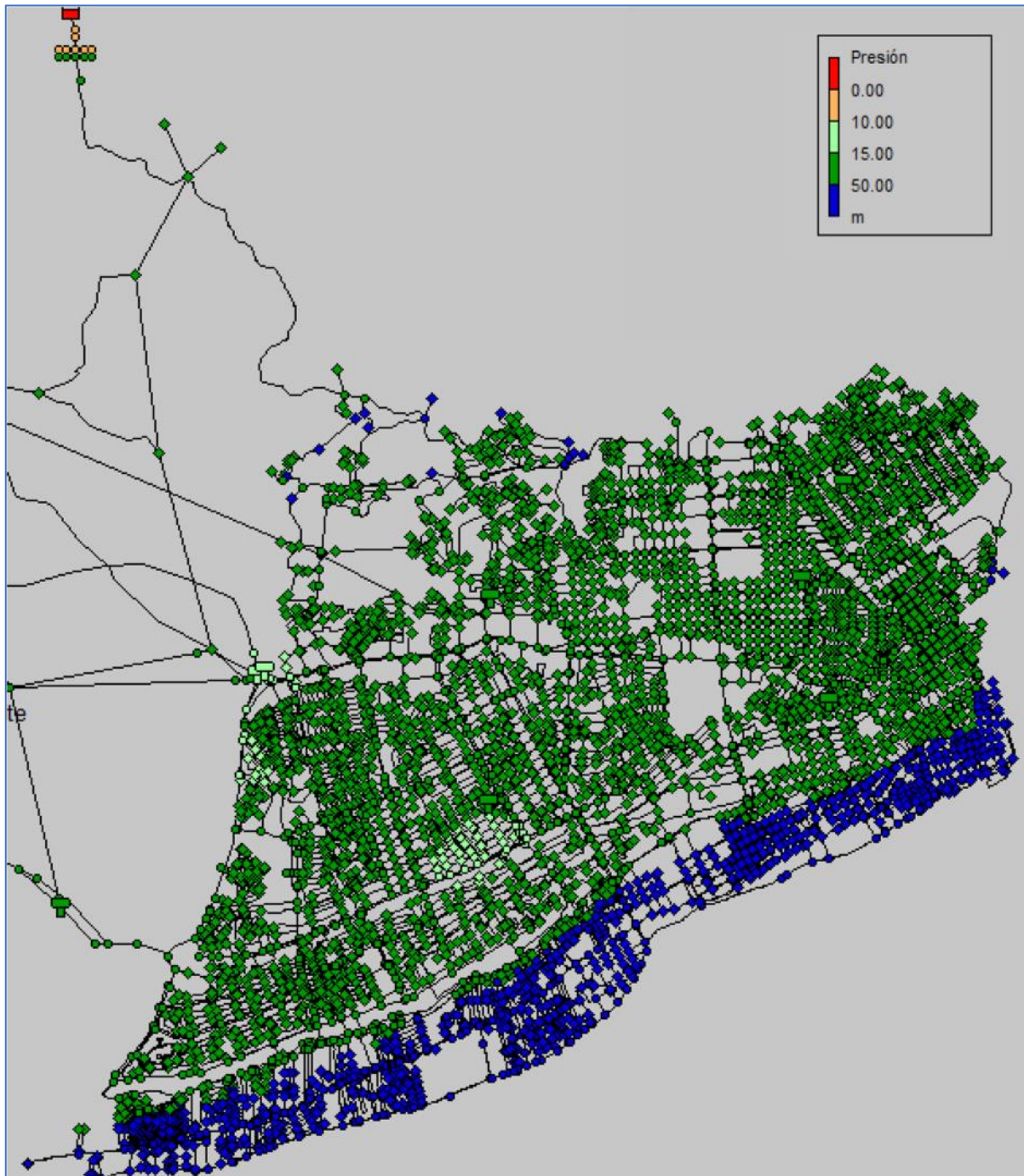


Figura XX: Presiones máximas. Elaboración propia.

4.3 Análisis de Velocidades

Según el reglamento del INAPA, las velocidades mínimas deben estar entre 0.25 y 0.40 m/s, para evitar deposiciones en las tuberías, y las velocidades máximas deben estar entre 1.60 y 2.00 m/s.

En el modelo, si simulamos para obtener valores máximos, encontramos velocidades de hasta 10.65 m/s, lo que quiere decir que esas tuberías pudieran estar infradimensionadas, transportando un caudal muy elevado para su diámetro. De igual manera, encontramos una cantidad considerable de líneas con velocidades inferiores a 0.25 m/s, lo que quizás podría representar un sobredimensionamiento de estas.

En general, el 2% de las conducciones presentan velocidades mayores a 2 m/s y el 44% presenta velocidades inferiores a 0.25 m/s.

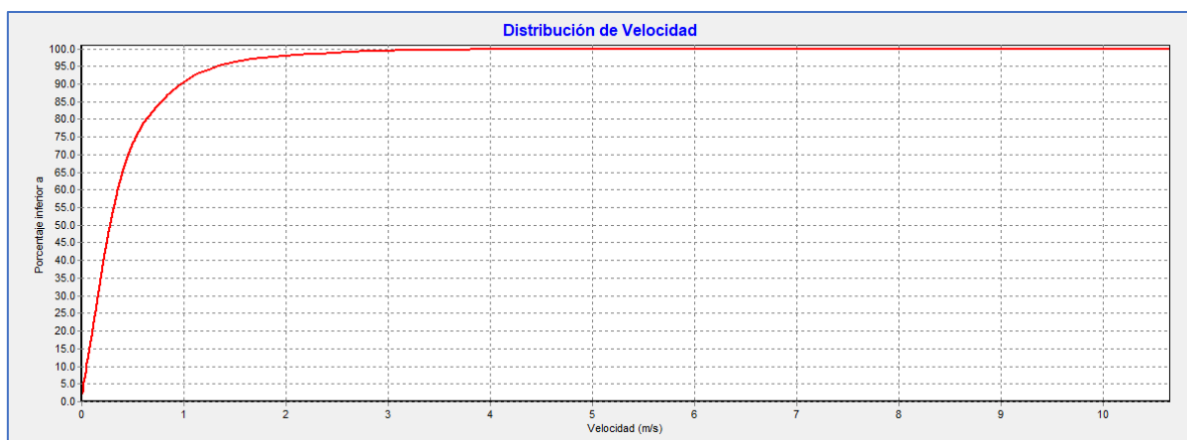


Figura XXI: Distribución de velocidades máximas en la red. Elaboración propia.

4.4 Pérdidas de Carga Unitaria

Las pérdidas de carga se producen en función de la viscosidad del agua y el rozamiento de esta contra las paredes internas de las tuberías. Estas pérdidas aumentan o disminuyen de acuerdo a dos parámetros principales, el caudal y el diámetro. Aumentos de caudal para un mismo diámetro, significa aumentos de pérdidas de carga y de manera inversa, aumentos de diámetro para un mismo caudal, significa disminución de pérdidas de carga.

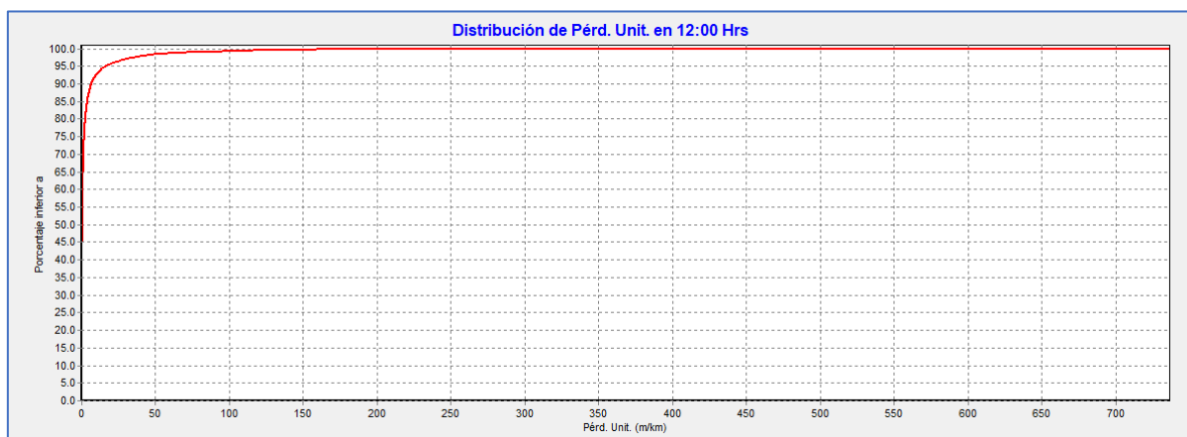


Figura XXII: Distribución de pérdida unitaria en hora de máxima demanda. Elaboración propia.

En la hora de mayor demanda encontramos valores extremos de pérdidas de carga, como es el de la tubería L5151 con 736.55 m/km.

Para esta hora punta, un 88% de la red presenta valores inferiores a 5 m/km y 12% valores superiores a 5 m/km.

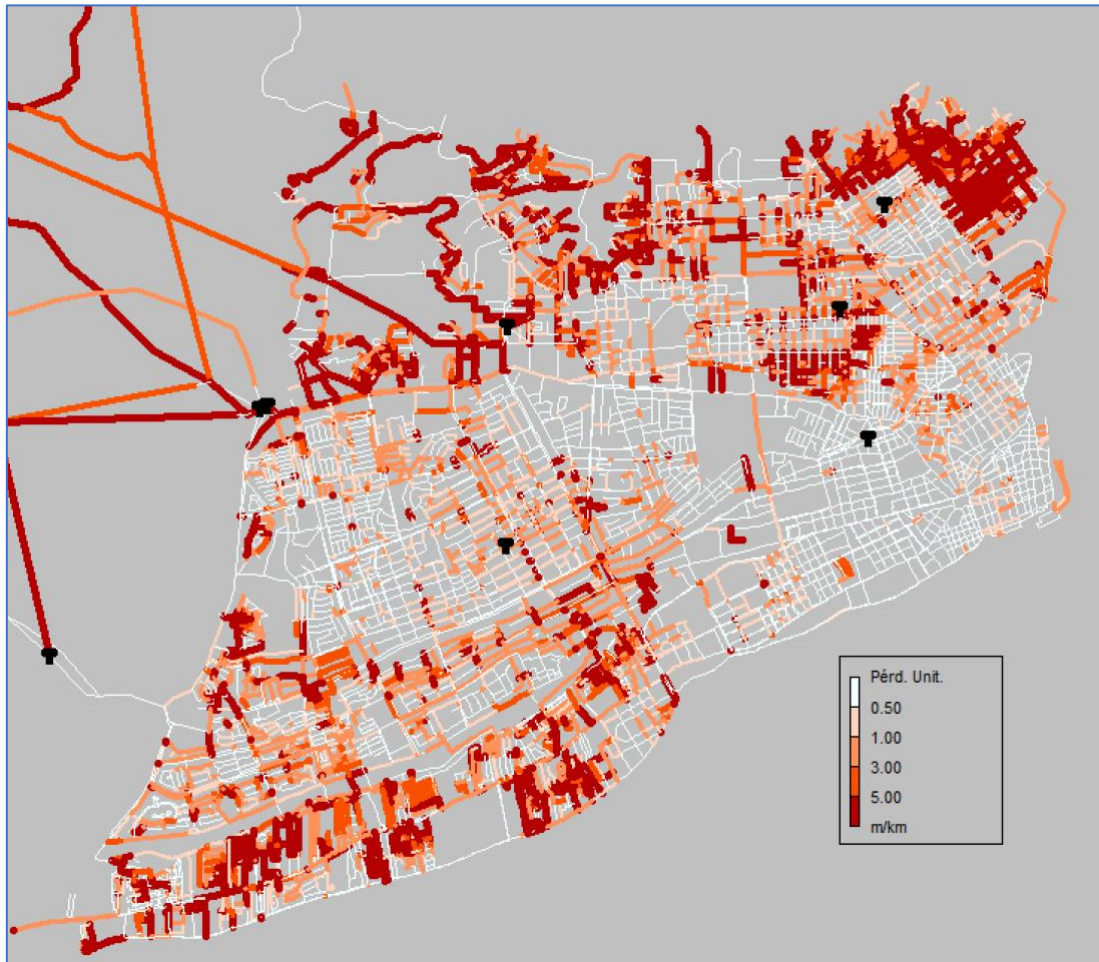


Figura XXIII: Pérdidas de carga en la red. Elaboración propia.

En la figura XXIII, se observa como las conducciones con pérdidas de carga superiores a 5 m/km se concentran mayormente en dos zonas de la red, en la parte suroeste y en la parte noreste.

Dependiendo de cada situación, tener una pérdida de carga elevada pudiera resultar beneficioso o no.

En la parte suroeste, debido a las presiones excesivas, causadas por desniveles topográficos importantes, tener pérdidas elevadas resulta beneficioso. Sin embargo, en la parte noreste, debido a que las demandas son elevadas y la topografía es regular, tener pérdidas elevadas resulta muy perjudicial, prácticamente impidiendo el suministro.

4.5 Diagnóstico General

En horas de máxima demanda no se logra abastecer a una parte de la población y otra parte se abastece con deficiencias en las presiones, esto se debe a las condiciones de producción y almacenamiento, además, de las condiciones de la red, que muestra elevadas pérdidas de carga, precisamente en las zonas de menores presiones. Por otro lado, en horas donde la demanda es mínima, vemos zonas con exceso de presión, ocasionado por las condiciones topográficas.

4.5.1 Excesos de Presión

En las horas de menor demanda, se registran presiones sobre los 70 mca, especialmente en la zona cercana al Mar caribe, debido a los desniveles del terreno. Las pendientes más pronunciadas se encuentran a partir de las avenidas Anacaona y Sarasota, hasta el Malecón de Santo Domingo.

Al noreste, en los márgenes de los ríos Ozama e Isabela también encontramos desniveles importantes, pero más puntuales y dispersos, no siguen una distribución uniforme, como ocurre en la parte sur del Distrito Nacional.

A continuación, a modo de ejemplo, se muestra el perfil longitudinal sobre la Av. Abraham Lincoln, desde la Av. Sarasota, donde inicia el descenso, hasta el Malecón de Santo Domingo, donde se encuentran las cotas más bajas.

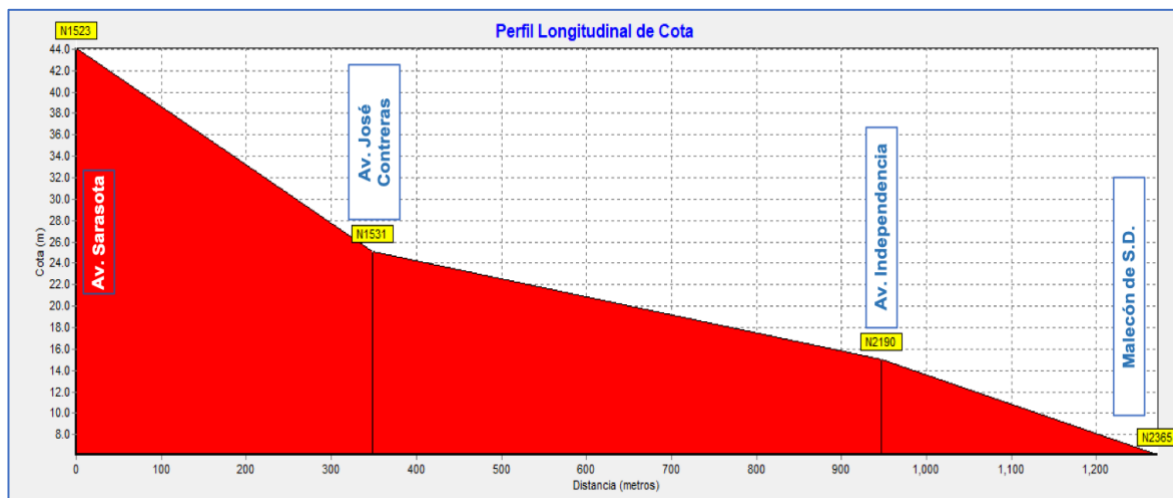


Figura XXIV: Perfil longitudinal sobre la Av. Abraham Lincoln, desde la Av. Sarasota hasta el Malecón de Santo Domingo. Elaboración propia.

En la figura XXV, se muestran las cotas de los nudos de la red, lo que nos proporciona una mejor visión de la altimetría de la ciudad y, a la vez, muestra claramente el porqué de los excesos de presión.

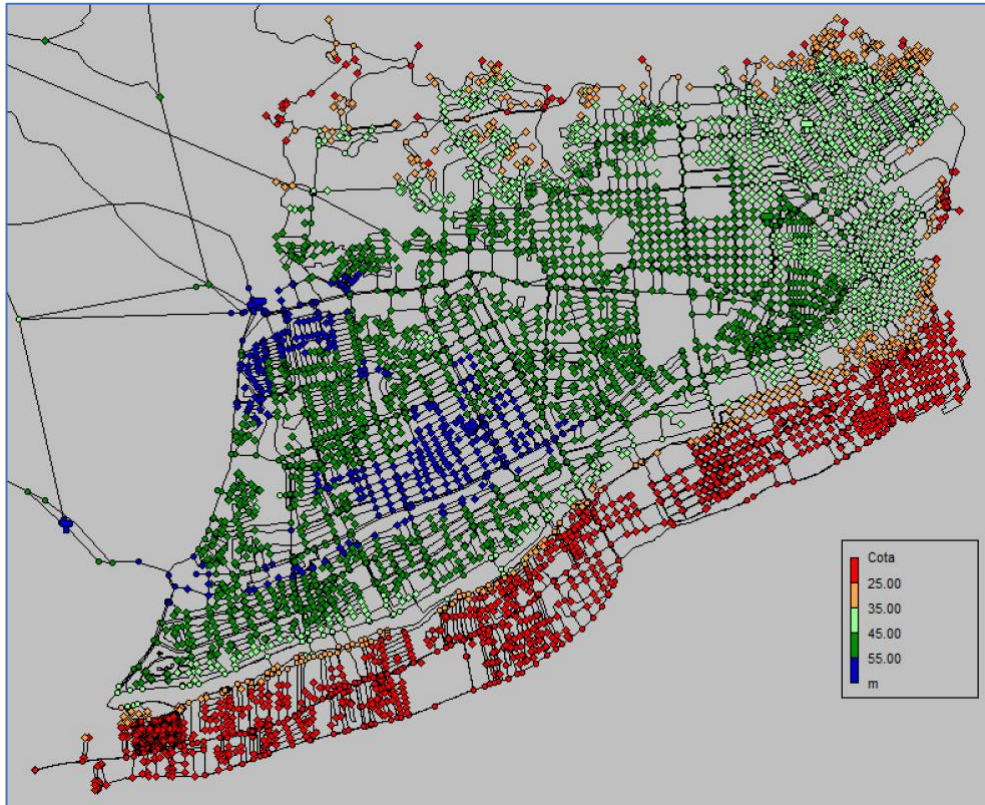


Figura XXV: Representación de cotas en la zona de estudio. Elaboración propia.

4.5.2 Insuficiencias en el Suministro

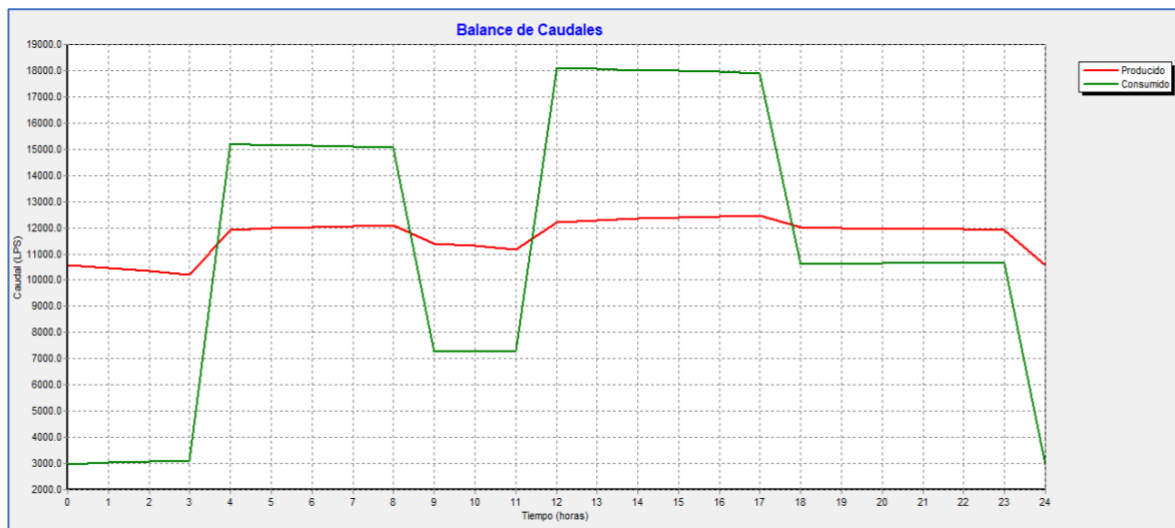


Figura XXVI: Balance de caudales. Elaboración propia.

En la figura anterior se observa que el consumo es mayor a la producción en ciertos horarios, por lo que se suple ese caudal faltante con el volumen almacenado en los depósitos, sin embargo, esto no es suficiente y no únicamente por el volumen disponible, también por una insuficiencia de carga hidráulica.

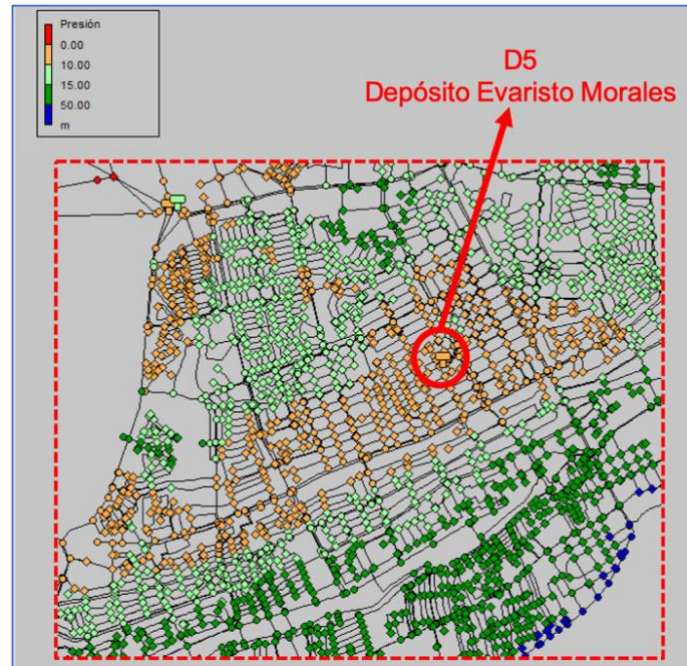


Figura XXVII: Depósito D5, Evaristo Morales. Elaboración propia.

Por ejemplo: En la figura XXVII, observamos el depósito D5, de Evaristo Morales, que se encuentra ubicado a una altura de 56 msnm, posee un nivel mínimo de 0.3 metros y uno máximo de 24.8 metros. Este tanque, al igual que los demás del sistema, no es capaz de alcanzar su nivel máximo en ningún momento del día, debido a las amplias diferencias entre demandas y producción. Además, a las 18:00 horas las presiones se hacen mínimas en la zona, sin embargo, el depósito aún posee 1/4 de su volumen, pero la carga no es suficiente para suplir adecuadamente, debido a que los nudos a su alrededor poseen cotas similares o superiores a la del depósito, el cual sule por gravedad.

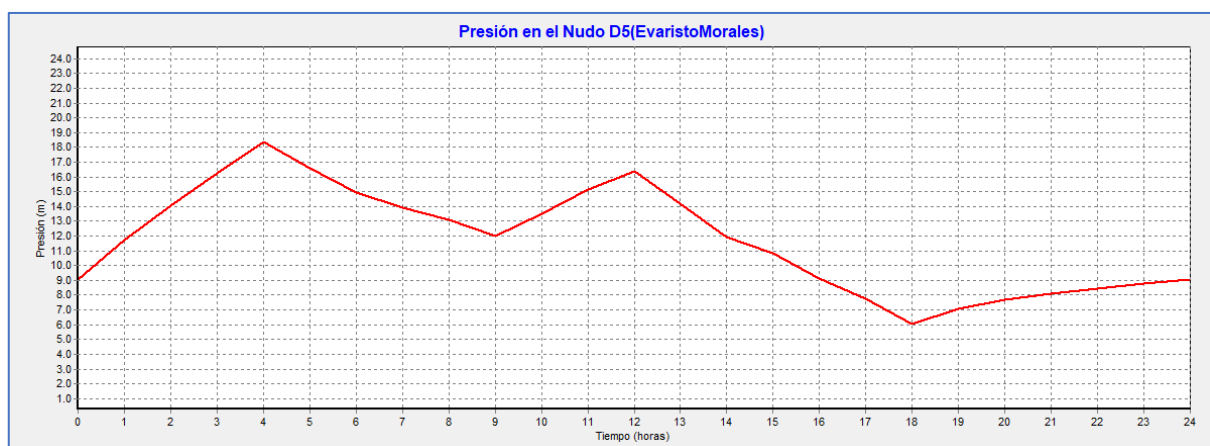


Figura XXVIII: Evolución de la presión en el depósito D5 (Evaristo Morales). Elaboración propia.

En las zonas donde las presiones son negativas, se carece totalmente del suministro y la razón principal es que se demanda un caudal muy elevado para la capacidad de transporte de la red. Barrios como Domingo Savio, María Auxiliadora, Gualay, Ensanche Espailat, 24 de Abril, Simón Bolívar, Ensanche Capotillo y la Zurza, no sólo se encuentran entre los más pobres y con menor inversión en infraestructura, también son los más densos en cuanto a población, lo que se traduce en altos niveles de consumo.

En la siguiente figura, observamos que la mayor densidad poblacional se agrupa en las zonas noreste y suroeste del Distrito, las mismas zonas que en la figura XXIII, de la página 4-46, habíamos encontrado las mayores pérdidas de carga y que, además, concentran las mayores tazas de pobreza.

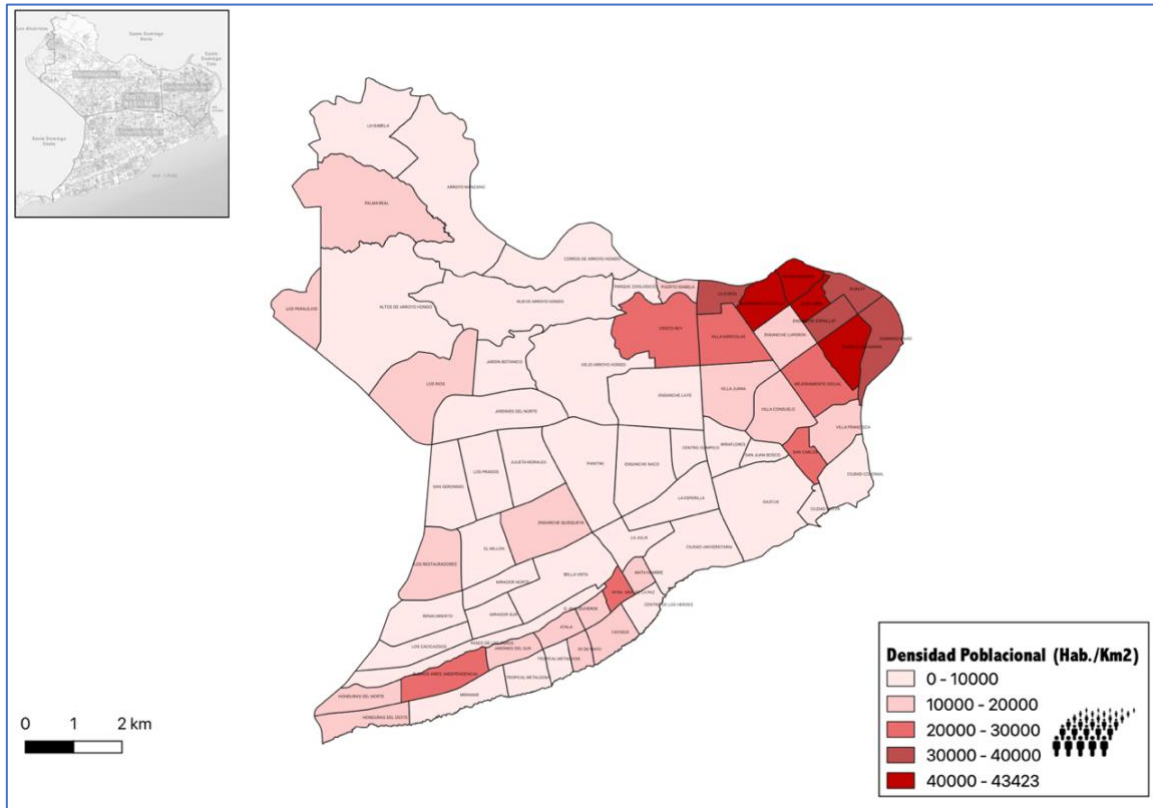


Figura XXIX: Densidad poblacional. Elaboración propia.

Para poder estimar y representar gráficamente la capacidad de transporte de las redes, con el fin de determinar dónde pudiera haber deficiencias, se ha realizado el siguiente cálculo:

- Sabiendo que, $Q = V \cdot A = V \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)$
- Suponiendo que, $\frac{\pi}{4} \cdot V$ es constante, entonces mientras mayor es el diámetro, mayor es D^2 y mayor debe ser el caudal (Q) transportado.
- Por las deducciones anteriores, se ha decidido tomar D^2 como parámetro comparativo, para determinar cuáles son los barrios cuyas redes poseen una mayor capacidad de transporte.
- Entonces, se ha realizado una suma de los cuadrados de los diámetros de las tuberías de cada barrio, expresado en m^2 , este valor representa la capacidad de transporte de la red en cada barrio.

En la siguiente figura, se muestra la capacidad de transporte de las redes de cada barrio, resultando las partes noreste y suroeste con capacidad de transporte baja. También sucede en la parte noroeste, pero debemos recordar que en esa zona carecemos de la información completa de las redes.

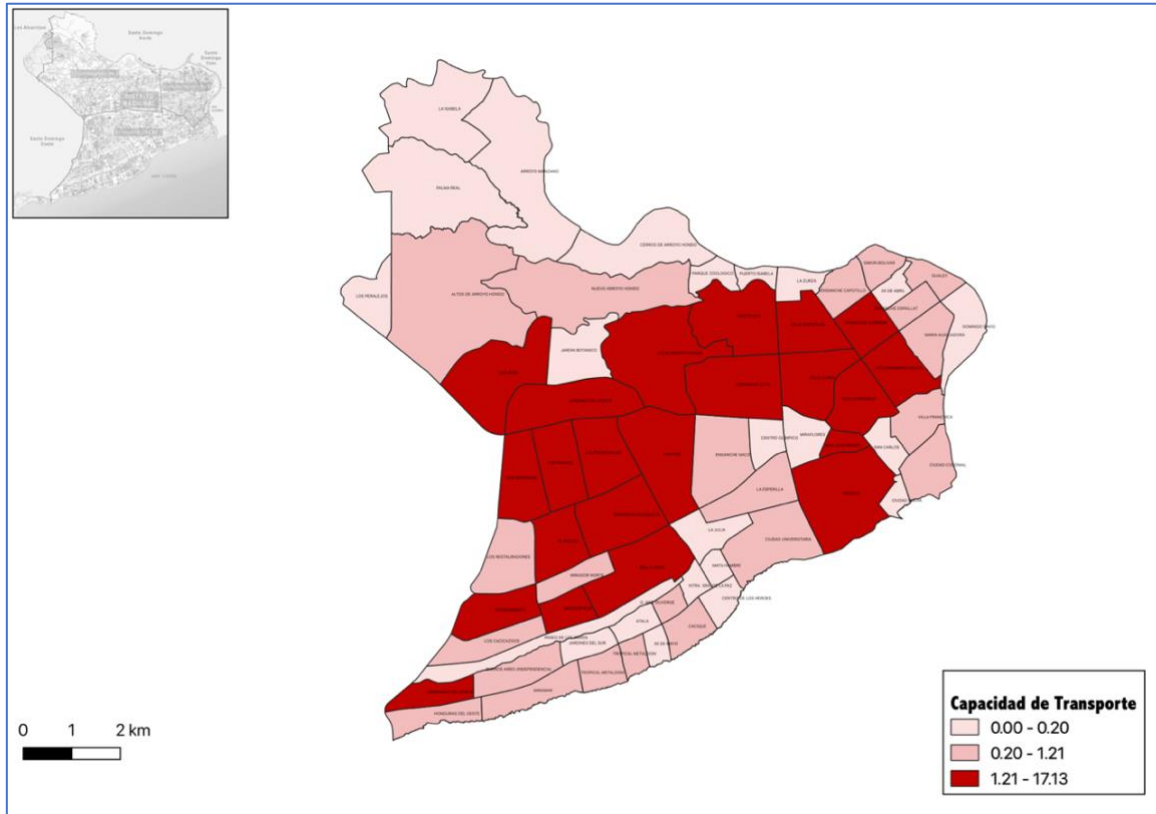


Figura XXX: Capacidad de transporte de la red. Elaboración propia.

Se puede observar en las figuras XXIX y XXX, que las zonas con mayores carencias en el suministro, corresponde a las que poseen una densidad poblacional más elevada, por lo tanto, mayores caudales demandados, pero con una capacidad de transporte muy baja.

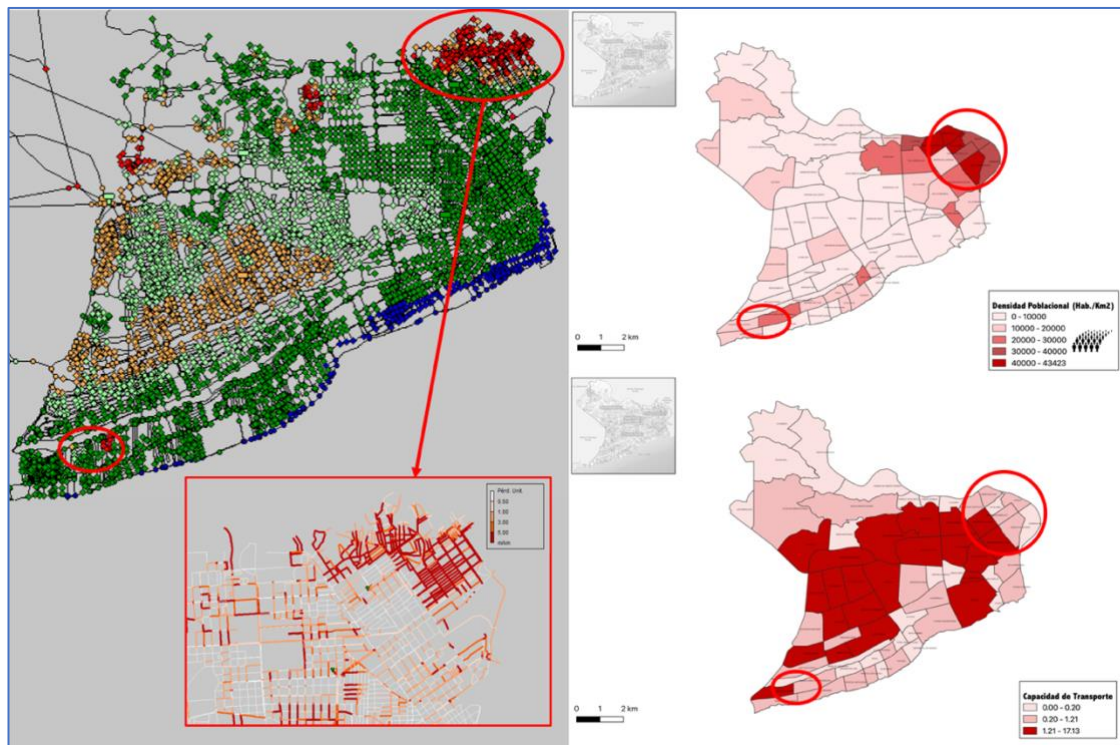


Figura XXXI: Relación entre falta de suministro, densidad poblacional, capacidad de transporte de la red y pérdidas unitarias. Elaboración propia.

En la figura XXXI, recopilamos varias imágenes y observamos que la parte suroeste del Distrito Nacional, a pesar de tener una densidad poblacional media-alta, por lo tanto, demandas considerables, y una red con capacidad de transporte media-baja, no se aprecian grandes problemas en el suministro, gracias a las condiciones topográficas de la zona, que contrarresta lo demás.

Sin embargo, en la parte noreste del Distrito, la alta densidad poblacional que induce una alta demanda de caudal y la baja capacidad de transporte, debido una baja inversión en infraestructura, provoca elevadas pérdidas de carga, lo que se traduce a incapacidad de realizar el suministro, al menos en las horas de mayor demanda.

Se debe prestar especial atención a esta zona, debido a que la densidad poblacional es muy elevada y como habíamos visto en la figura VII, de la página 2-13, esta zona concentra elevados bolsones de pobreza. Este nivel de hacinamiento, aunado a la falta de agua potable y otros servicios básicos, puede acarrear serios problemas sanitarios.

Capítulo 5: Actuaciones Propuestas

TEMARIO

- 5.1 Actuaciones Inmediatas
- 5.2 Actuaciones a Futuro
- 5.3 Resultados Finales
- 5.4 Valoración Económica de las Actuaciones



5 Actuaciones Propuestas

Existen diversas formas de corregir las deficiencias que presenta el sistema de abastecimiento del Distrito Nacional, sin embargo, se propondrán soluciones de bajo costo y alto impacto, para que las acciones sean realizables de acuerdo a los recursos disponibles.

Las actuaciones han sido divididas en dos, unas realizables en el menor tiempo posible y con inversión muy baja, llamadas “Actuaciones Inmediatas” y otras que se pueden tomar más tiempo e inversión, pero que se consideran completamente necesarias para poder abastecer a ciertos sectores, llamadas “Actuaciones a Futuro”.

Las actuaciones inmediatas serán más orientadas a la gestión del abastecimiento, teniendo como objetivo principal la reducción de las presiones en la zona baja y el aumento de las presiones a, por lo menos, 10 mca en el polígono central y sus zonas aledañas. Estas acciones económicamente son muy viables, realizándose inversiones únicamente en instalación de válvulas.

Las actuaciones a futuro pretenden resolver el problema del suministro en los sectores donde la capacidad de las redes no resulta suficiente, por lo que se deberán hacer sustituciones de tuberías, estas inversiones son de mayor importancia, pero debido a la cantidad de habitantes servidos, son totalmente viables.

5.1 Actuaciones Inmediatas

Se abordan soluciones relacionadas a la planificación y gestión del sistema, con el fin de eficientizar las operaciones, lo que garantiza la mejora en el suministro. Se atacará el problema de las sobrepresiones lo que trae como ventajas la disminución del volumen de agua fugado, reducción de averías en las tuberías y accesorios, además de un posible aumento de la presión en otras zonas, lo que podría resultar en una mejora de la eficiencia volumétrica del sistema.

Por otro lado, se planificarán horarios de suministro, tratando de que estos sean lo más extensos posible, especialmente en las zonas centrales del Distrito Nacional. Se recuerda, como ya hemos mencionado anteriormente, que en la actualidad el suministro no es continuo.

5.1.1 División del Territorio Abastecido en Sectores

Se propone una sectorización dentro del territorio abastecido, para poder gestionar de forma más efectiva el reparto de caudales y de esta manera mejorar el suministro. La división se ha realizado en base a diversos criterios como son las condiciones topográficas, características socioeconómicas de los barrios y capacidad de las redes.

El Distrito Nacional, que es nuestra zona de estudio, se ha dividido en 5 sectores, mostrados en la figura XXXII, con las siguientes características:

- **Sector 1:** Le componen los barrios Piantini y Ensanche Naco, a esto se le llama Polígono Central y es el centro económico y comercial más importante del país, donde se presentan los mayores niveles de desarrollo.

- **Sector 2:** Está compuesto por 15 barrios cercanos Polígono Central, con condiciones socioeconómicas elevadas y con excelente desarrollo inmobiliario.
- **Sector 3:** Está compuesto por 18 barrios, ubicados en la zona baja del Distrito Nacional y que posee un desarrollo socioeconómico medio, con una gran concentración de sedes institucionales y de educación superior.
- **Sector 4:** Es un sector con nivel socioeconómico medio-bajo, con una gran parte de su territorio aún en desarrollo.
- **Sector 5:** Lo componen 5 de los barrios más pobres y densamente poblados del Distrito Nacional, que cuentan con un muy bajo nivel de inversión en infraestructuras en sentido general, lo que incluye a sus redes de distribución de agua.

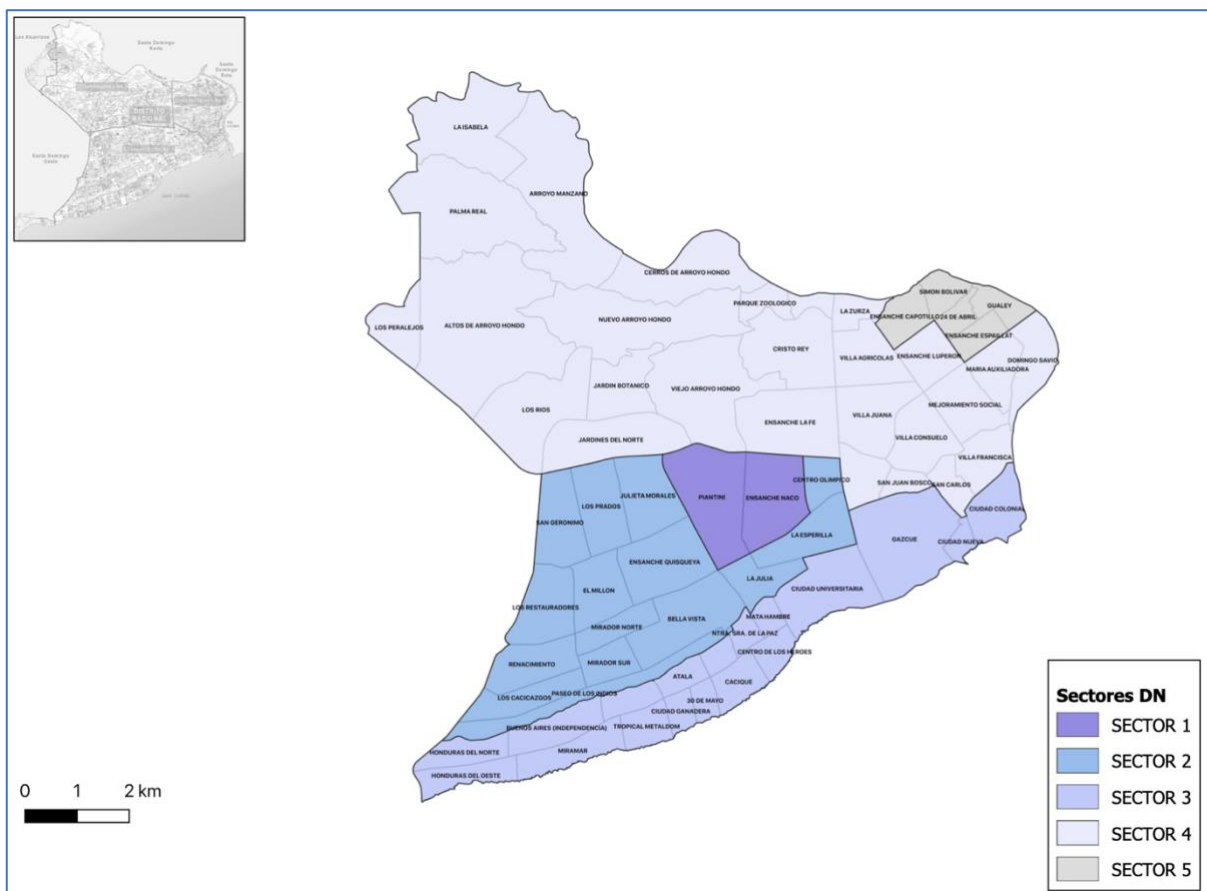


Figura XXXII: Sectorización Distrito Nacional. Elaboración propia.

Por otro lado, los municipios Santo Domingo Oeste, Los Alcarrizos, Pedro Brand, San Cristóbal, Bajos de Haina y Villa Altagracia, aunque no forman parte del área estudiada, han sido considerados.

Esto, debido a que al menos una parte de su suministro se realiza directamente de una o varias de la fuentes que suplen al Distrito Nacional y como no se cuenta con datos de macromedición, no se conoce con exactitud cuál es el caudal que entra al Distrito y cuál es el que se destina a estas zonas, por lo que se simula el sistema completo, aunque no se analiza, ni se le da solución a los problemas de estas zonas externas.

Los municipios han sido divididos en 3 sectores, tomando como criterio que el reparto de caudales sea aproximadamente el mismo y así poder tener mejor control del suministro. La sectorización es mostrada en la figura XXXIII.

- **Sector 6:** Lo compone Santo Domingo Oeste, que se ubica al oeste, justo al lado del Distrito Nacional y forma parte de la Provincia de Santo Domingo.
- **Sector 7:** Lo componen Los Alcarrizos y Pedro Brand, ubicados al noroeste del Distrito Nacional y forman parte de la Provincia de Santo Domingo.
- **Sector 8:** Lo componen San Cristóbal, Bajos de Haina y Villa Altagracia, pertenecientes a la Provincia de San Cristóbal.

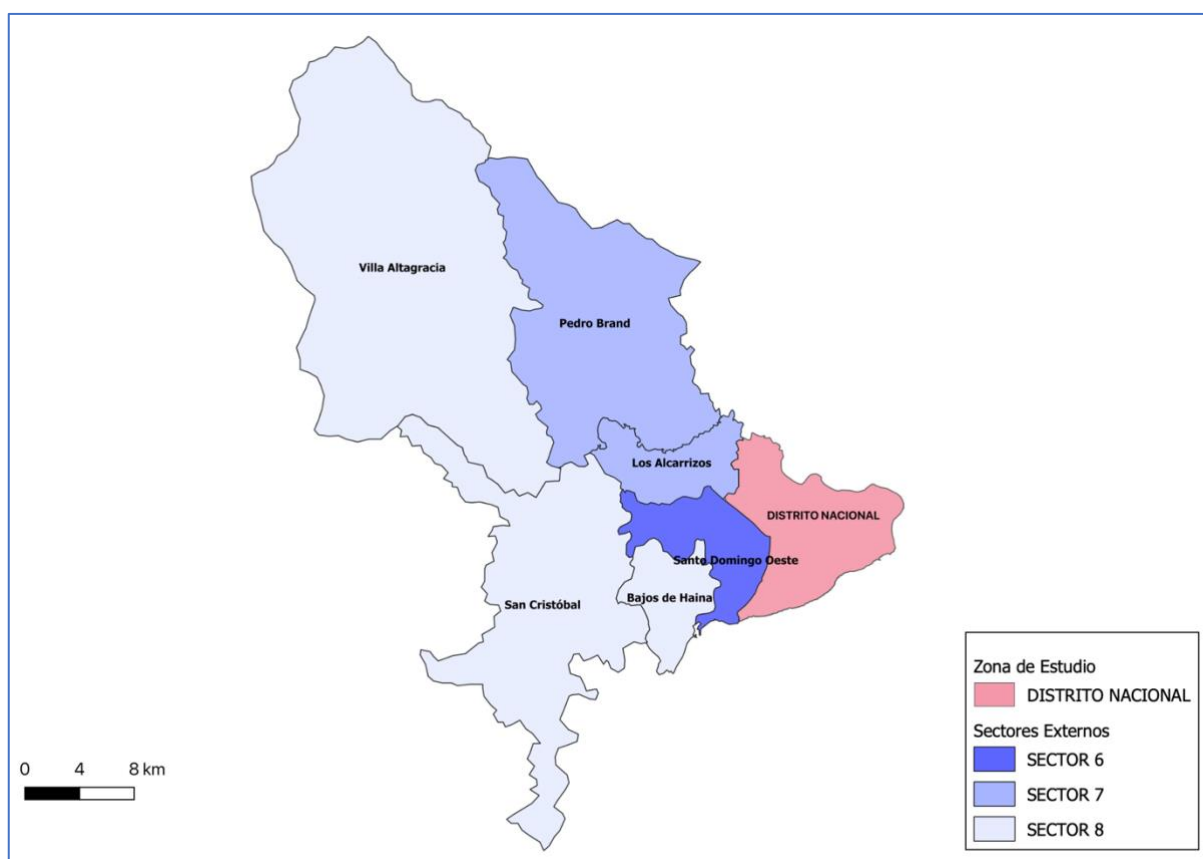
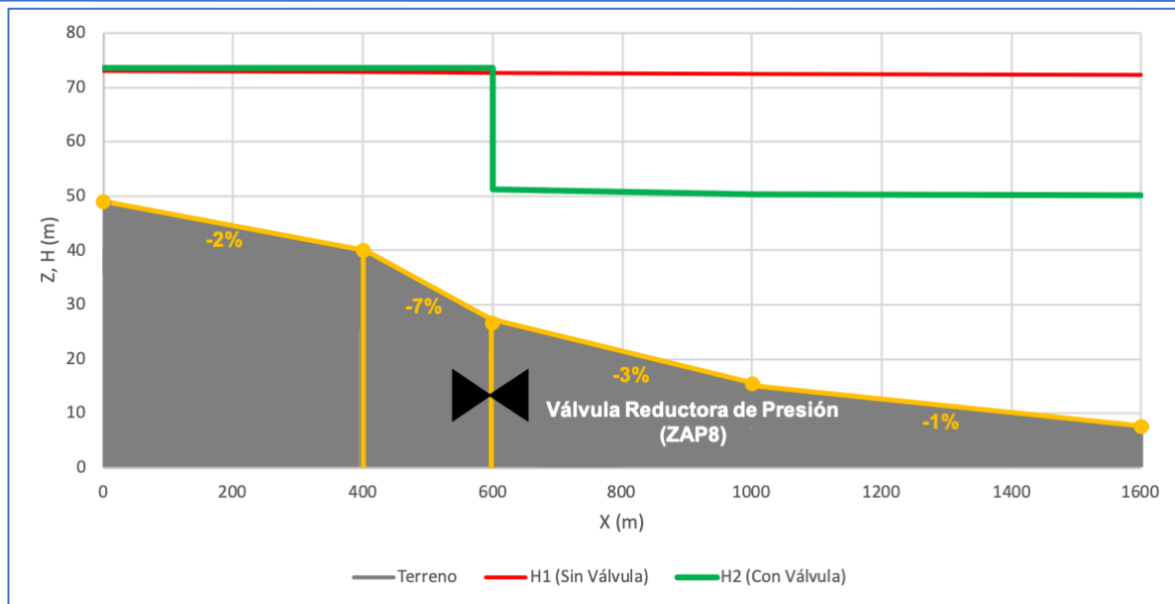


Figura XXXIII: Sectores externos al Distrito Nacional. Elaboración propia.

5.1.2 Colocación de Válvulas Reductoras de Presión

Las presiones serán reducidas hasta un mínimo de 10 mca y un máximo de 50 mca, excepto en algunas zonas aisladas, que se permitirán presiones de hasta 70 mca. La ubicación de las válvulas reductoras de presión será de acuerdo a las condiciones topográficas y sus consignas se ajustarán mediante simulaciones.



Como se muestra en la figura XXXIV, las válvulas han sido colocadas según las condiciones topográficas, siempre al final de los tramos de mayor pendiente, provocando una caída de la línea de alturas piezométricas.

En total se deben instalar 18 válvulas, de diámetros que van acorde a los de las tuberías en las que se instalan. Las válvulas han sido identificadas como ZAP (zona de alta presión) seguido de un número que va del 1 a 18, quedando de la siguiente manera:

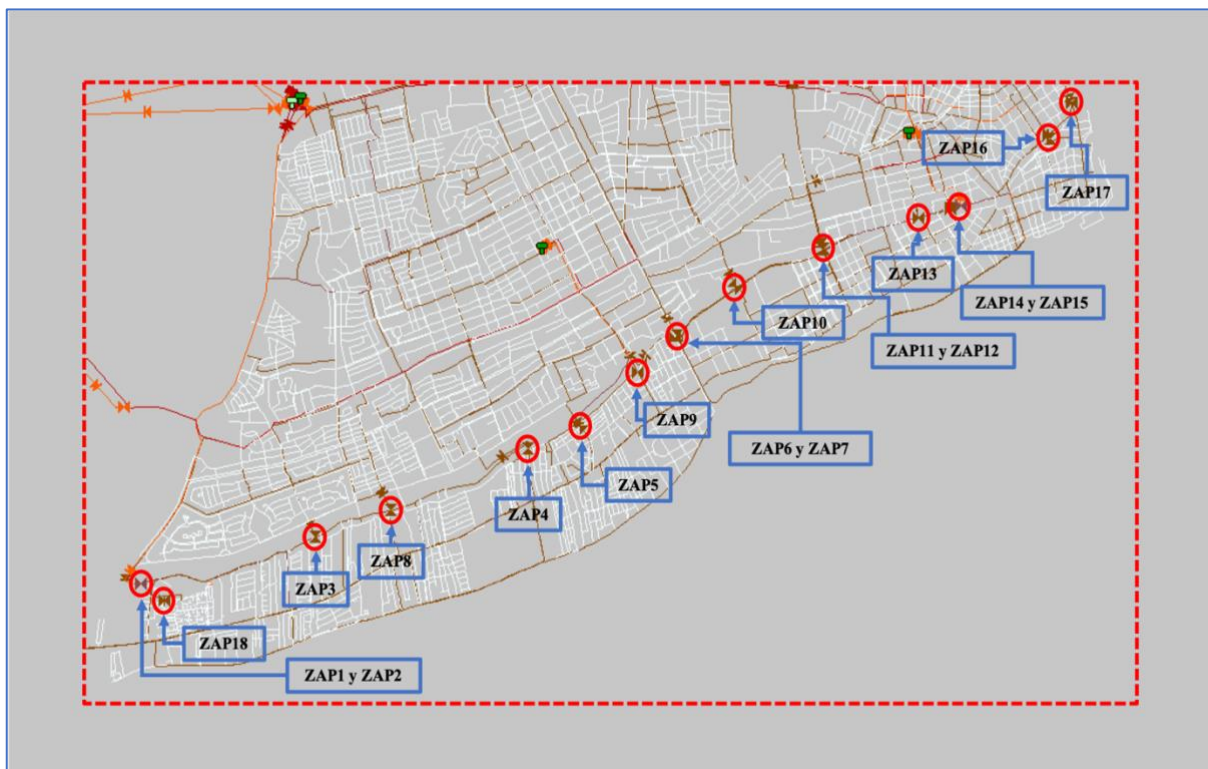


Tabla XXVI: Válvulas reductoras de presión. Elaboración propia.

ID	Diámetro (Pulgadas)	Diámetro (mm)	Consigna (mca)	Ubicación (Tubería)
ZAP1	16	406.4	19	L2310
ZAP2	20	508	19	L2638
ZAP3	12	304.8	20	L10458
ZAP4	12	304.8	20	L2151
ZAP5	16	406.4	20	L10384
ZAP6	12	304.8	15	L9976
ZAP7	16	406.4	15	L11790
ZAP8	12	304.8	20	L7961
ZAP9	12	304.8	16	L10469
ZAP10	16	406.4	15	L2230
ZAP11	16	406.4	15	L10412
ZAP12	8	203.2	15	L11564
ZAP13	16	406.4	15	L10429
ZAP14	16	406.4	15	L1550
ZAP15	20	508	15	L2645
ZAP16	10	254	15	L2594
ZAP17	10	254	15	L2571
ZAP18	8	203.2	16	L7891

El resultado obtenido luego de haber insertado las válvulas, es el siguiente:

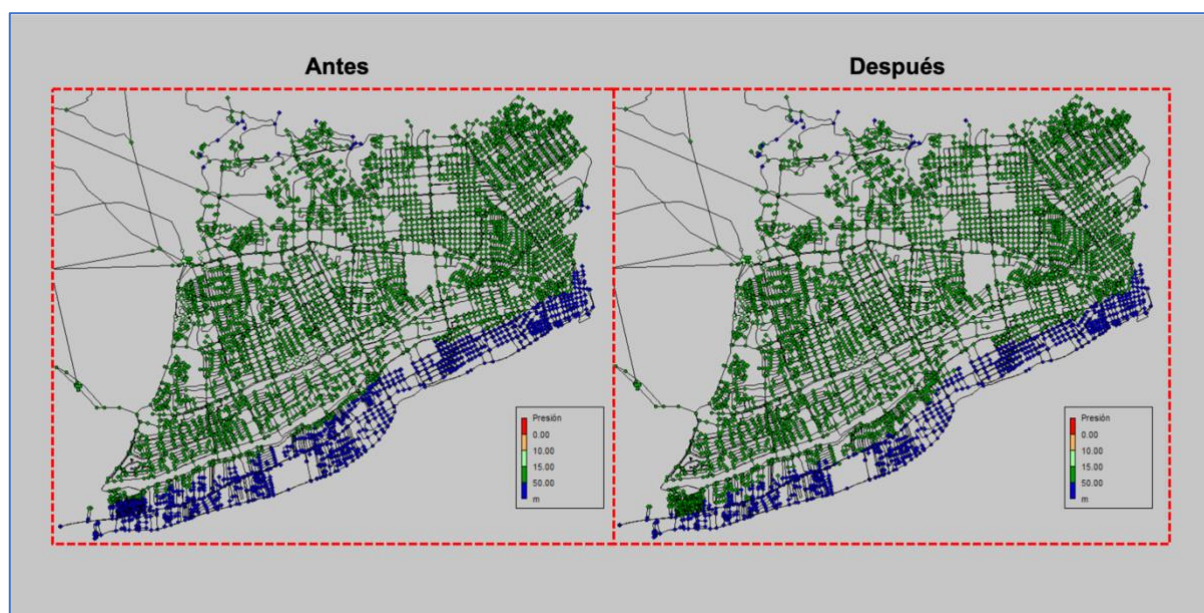


Figura XXXVI: Mejoras en las presiones máximas, luego de insertar las VRP. Elaboración propia.

En esta simulación de valores máximos, la presión promedio en los nudos de consumo era de 33.86 mca y se redujo a 32.60 mca. El nudo de mayor presión fue llevado de 66.5 mca a 62.42 mca, estas variaciones no son muy significativas, por esta razón serán cerradas algunas tuberías estratégicas, que mejorarán los resultados.

5.1.3 Cierre de Tuberías

Se han cerrado 82 líneas, de diversas categorías, que van desde 50 hasta 600 milímetros de diámetro, lo que ha permitido dividir las zonas y controlar mejor los flujos de caudal.

Los resultados obtenidos luego del cierre de las tuberías, han sido los siguientes:

- Disminución de las presiones en horarios de mínima demanda.

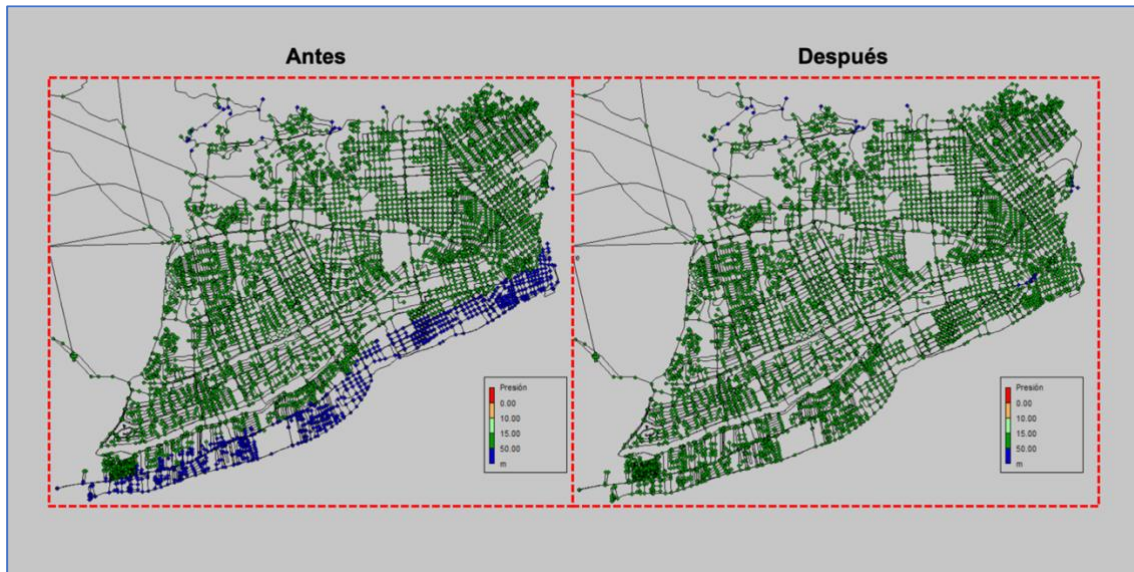


Figura XXXVII: Mejoras en las presiones máximas, luego del cierre de tuberías. Elaboración propia.

En esta simulación de valores máximos, la presión promedio en los nudos de consumo era de 32.60 mca y se redujo a 27.61 mca. Todos los nudos están por debajo de 50 mca, excepto 12 nudos dispersos, que registran presiones entre 50 y 65 mca. Esta disminución sólo ha logrado reducir el caudal consumido en un 0.44%.

- Aumento de las presiones en horarios de máxima demanda.

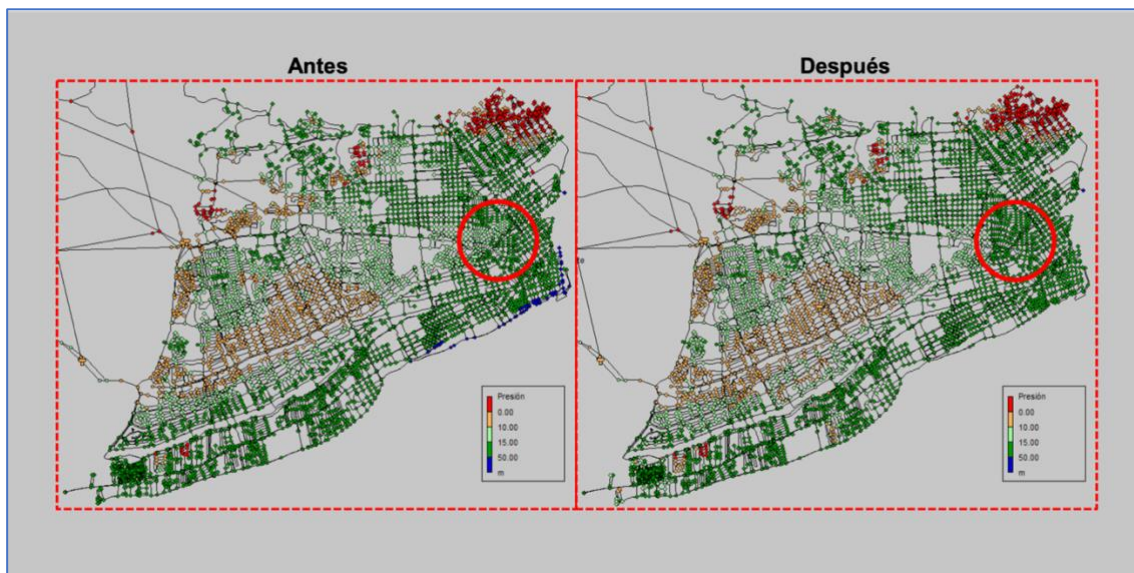


Figura XXXVIII: Mejoras en las presiones mínimas, luego del cierre de tuberías. Elaboración propia.

Los aumentos de presión en horarios de máxima demanda, gracias a la disminución de las presiones excesivas en el sector 3, han sido mínimos. La tendencia general es que se mantengan las presiones anteriores o incluso que se reduzcan ligeramente, excepto algunos casos aislados como el que se muestra en la imagen anterior.

5.1.4 Programación de los Horarios de Servicio

Luego de las actuaciones anteriores se verifica que, con los niveles de producción, almacenamiento y los consumos actuales, aún eliminando los excesos de presión en el sector 3, no es posible abastecer a toda la población las 24 horas del día, por lo que se realizará una programación del suministro, para de esta manera racionar el caudal disponible.

Se asume el mismo patrón de consumo para los sectores 1 al 5, con un valor promedio de 1.17.

Para los sectores 6, 7 y 8 se asume un patrón reducido, con un valor promedio de 1, debido a que alrededor de 500,000 personas entran diariamente al Distrito Nacional a trabajar o estudiar, y una parte de esa población flotante procede de estos sectores, lo que quiere decir que durante todo el día el consumo no lo realizan donde habitan, sino en el Distrito Nacional.

A continuación, se muestra una tabla con los patrones de consumo asignados a los distintos sectores.

Tabla XXVII: Patrones de consumo para los distintos sectores. Elaboración propia.

Rango Horario	00:00 - 04:00	04:00 - 09:00	09:00 - 12:00	12:00 - 18:00	18:00 - 00:00
Patrón Sectores 1, 2, 3, 4 y 5	0.19	1.54	0.66	1.88	1.05
Patrón Sectores 6, 7 y 8	0.16	1.32	0.57	1.61	0.90

Se han ido reajustando los coeficientes de acuerdo a los horarios elegidos. Por ejemplo; si se ha cortado el servicio en el sector 6, de 04:00 a 09:00, para poder mantener el promedio de 1, se han elevado, proporcionalmente, los coeficientes en las horas de servicio, como se muestra a continuación:

Tabla XXVIII: Ejemplo de reajuste de patrón de consumo por corte en el suministro. Elaboración propia.

Rango Horario	00:00 - 04:00	04:00 - 09:00	09:00 - 12:00	12:00 - 18:00	18:00 - 00:00
Patrón Sector 6 (Original)	0.16	1.32	0.57	1.61	0.90
Patrón Sector 6 (Reajustado)	0.22	0.00	0.78	2.22	1.24

Luego de probar múltiples combinaciones, se ha logrado que todo el Distrito Nacional (sectores 1 al 5) tenga suministro continuo, mientras que los sectores externos (6 al 8) tendrán ciertas horas de interrupción en el servicio.

A continuación, se muestra una tabla con los horarios de suministro y corte del servicio:

Tabla XXIX: Horarios de suministro. Elaboración propia.

Horas/Sectores	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	Sector 7	Sector 8
0:00								
1:00								
2:00								
3:00								
4:00	S	S	S	S	S			S
5:00	E	E	E	E	E			E
6:00	R	R	R	R	R			R
7:00	V	V	V	V	V			V
8:00	I	I	I	I	I			I
9:00	C	C	C	C	C			C
10:00	I	I	I	I	I			I
11:00	O	O	O	O	O			O
12:00	C	C	C	C	C			
13:00	O	O	O	O	O			
14:00	N	N	N	N	N			
15:00	T	T	T	T	T			
16:00	I	I	I	I	I			
17:00	N	N	N	N	N			
18:00	U	U	U	U	U			
19:00	O	O	O	O	O			
20:00								
21:00								
22:00								
23:00								

Al aplicar estos horarios se ha podido racionar el caudal y elevar las presiones en los momentos de máxima demanda. El nivel inicial de los depósitos ha sido modificado, realizando una simulación por 15 días, hasta que el sistema alcanzó un equilibrio, quedando de la siguiente forma:

Tabla XXX: Reajuste del nivel inicial en los depósitos. Elaboración propia a partir de (García, 2014).

Descripción	D1 Partición (Aut. Duarte)	D2 Partición (Aut. Duarte)	D3 Palmar Herrera	D4 Sede Central	D5 Evaristo Morales	D6 Villa Juana	D7 San Juan Bosco	D8 Moscoso Puello
ID Sector Ubicación	B2-12	B2-12	B1-28	B2-17	B1-30	B3-12	B1-37	B3-06
Cantidad depósitos	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00
Cota Solera (m)	59.20	59.20	55.25	50.20	56.00	45.20	45.20	41.55
Altura (m)	15.00	30.00	25.00	30.00	25.00	15.00	25.00	30.00
Nivel Inicial (m)	14.64	28.46	24.44	29.80	23.82	31.44	24.80	29.80
Nivel Mínimo (m)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	20.30	0.30	0.30
Nivel Máximo (m)	14.80	29.80	24.80	29.80	24.80	34.80	24.80	29.80
Diámetro (m)	60.00	30.00	40.00	25.00	40.00	34.64	40.00	25.00
Sección (m ²)	8,482.30	706.86	1,256.64	490.87	1,256.64	942.48	2,513.27	981.75
Diámetro Equivalente (m)	103.92	30.00	40.00	25.00	40.00	34.64	56.57	35.36
Volumen (m ³)	127,234.50	21,205.75	31,415.93	14,726.22	31,415.93	14,137.17	62,831.85	29,452.43

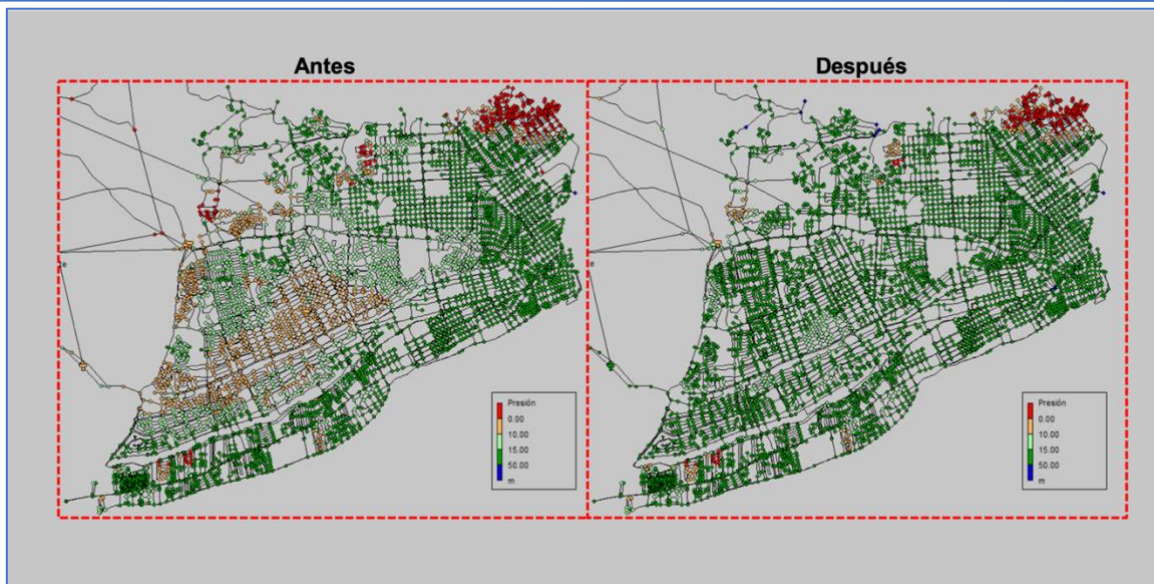


Figura XXXIX: Mejoras en las presiones mínimas luego de aplicar la programación de los horarios y reajuste en nivel inicial de depósitos. Elaboración propia.

En la figura XXXIX, se observa un aumento de la presión en las zonas con deficiencias, logrando que el polígono central y sus zonas aledañas registren presiones por encima de 10 mca. Sólo un 7% de los nudos de consumo registran presiones por debajo de 10 mca y de esos el 61% por debajo de cero, esto es debido a que las conducciones no poseen suficiente capacidad para transportar los caudales demandados.

|| 5.2 Actuaciones a Futuro

Las presiones máximas se han reducido a valores aceptables y las presiones mínimas se han aumentado a valores superiores a 10 mca, excepto en ciertas zonas donde la capacidad de la red no resulta suficiente, especialmente en el sector 5 ubicado al noreste del Distrito Nacional.

Para poder aumentar la capacidad de estas redes, se han identificado los tramos con mayores pérdidas de carga y se han ido sustituyendo por tuberías de mayor diámetro. Esto fue realizado en los sectores 2 al 5, pero con mayores impactos en el sector 5.



Figura XL: Pérdidas de carga en el sector 5. Elaboración propia.

- **Sustitución de Tuberías**

A continuación, se presenta una tabla con la longitud de las tuberías sustituidas en cada barrio.

Tabla XXXI: Longitud de tuberías sustituidas por barrios. Elaboración propia.

Código	Barrio	Longitud
B02	Palma Real	4379.48
B04	Altos de Arroyo Hondo	4141.48
B45	La Agustina	2253.69
B00	N/A	2015.71
B58	Ensanche Capotillo	1865.67
B61	Ensanche Espaillat	1520.15
B16	Nuevo Arroyo Hondo	1468.37
B14	Los Jardines	1182.82
B59	Simón Bolívar	1079.14
B60	24 de Abril	944.47
B13	San Gerónimo	698.14
B67	Gualey	645.94
B46	Cristo Rey	583.42
B48	La Zurza	547.46
B25	Buenos Aires Mirador	408.43
B62	María Auxiliadora	403.94
B49	Villas Agrícolas	392.40
B36	30 de Mayo	350.02
B09	Parque Mirador Sur	102.74

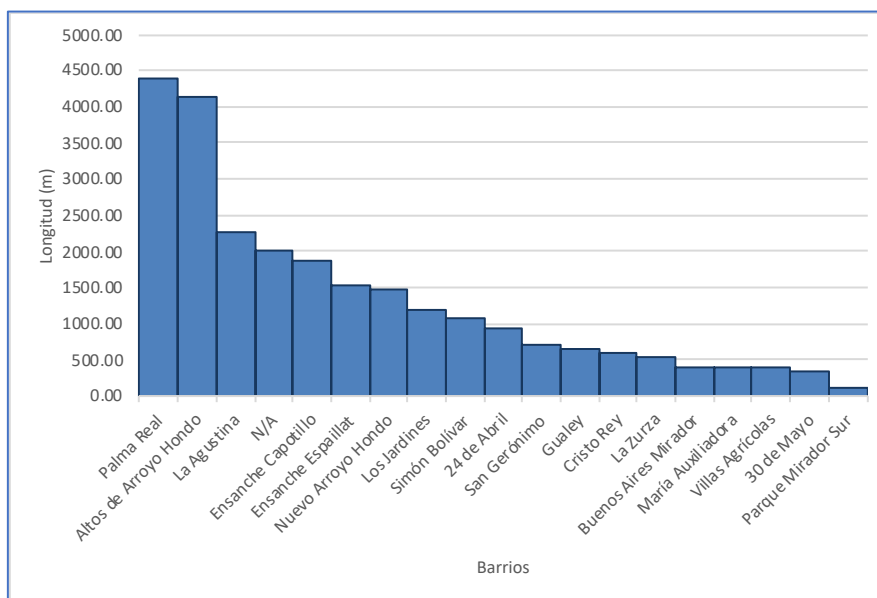


Figura XLI: Longitud de tubería sustituida en cada barrio. Elaboración propia.

En la figura XLI, se observa que los barrios con mayor longitud de tuberías reemplazadas son Palma Real y Altos de Arroyo Hondo. Sin embargo, los que más se han beneficiado de los cambios realizados son; Ensanche Capotillo, Ensanche Espaillat, Simón Bolívar, 24 de Abril, Gualey, La Zurza, María Auxiliadora y Villas Agrícolas.

Se han sustituido un total de 210 tramos de tubería, sumando una longitud de 25 kilómetros (menos del 2% de la red) con diámetros que van desde 70 hasta 500 mm (3 a 20 pulgadas).

5.3 Resultados Finales

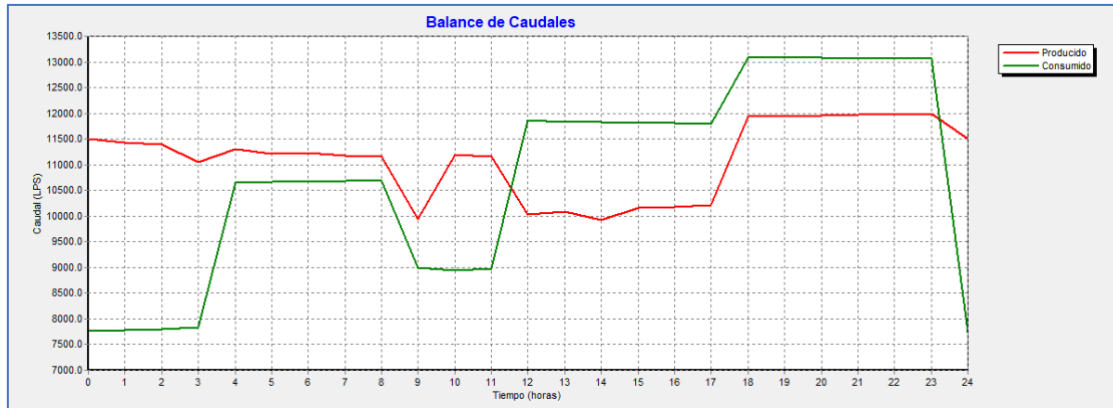


Figura XLII: Balance de caudales luego de las actuaciones propuestas. Elaboración propia.

En comparación con el balance de caudales presentado en la figura XXVI, de la página 4-48, el caudal consumido se reduce de aproximadamente 18,000 LPS a unos 13,000 LPS (38%) para las horas de máxima demanda, mientras que aumenta de aproximadamente 3,000 LPS a unos 7,700 LPS (257%) en las horas de menor demanda, lo que resulta en una distribución del consumo más uniforme a lo largo del día y más cercana al caudal producido.

5.3.1 Presiones Máximas

Simulando en máximos, la presión más baja que se registra en un nudo de consumo es de 14 mca, mientras que la más alta es de 72 mca.

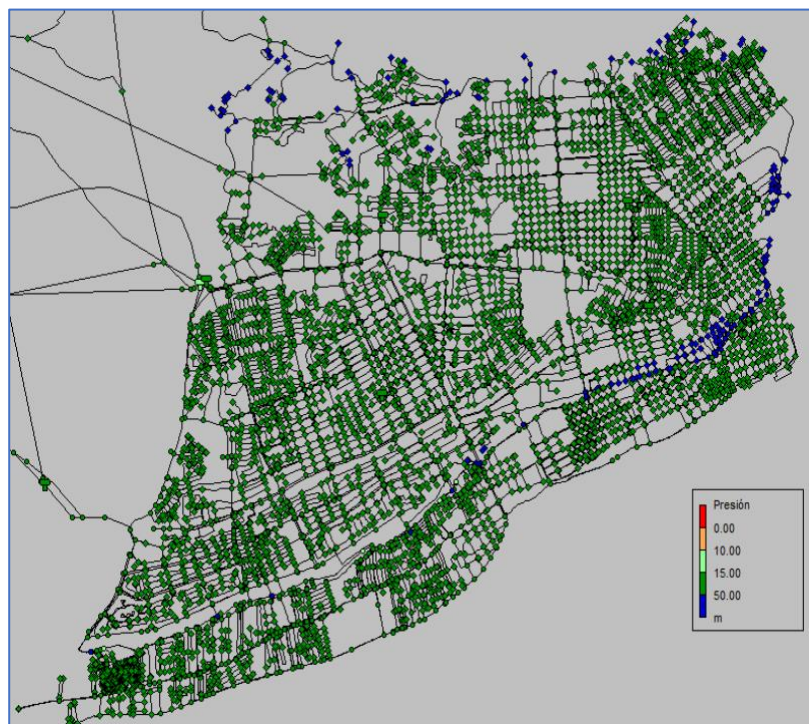


Figura XLIII: Presiones máximas luego de realizadas las actuaciones propuestas. Elaboración propia.

5.3.2 Presiones Mínimas

Simulando en mínimos, la presión más baja que se registra en un nudo de consumo es de 10 mca, mientras que la más alta es de 60 mca.

Las bajas presiones eran el problema principal en esta red y con la programación de un horario para el suministro, la colocación de válvulas, el cierre de tuberías y el reemplazo de las tuberías con peor funcionamiento, se ha logrado que el Distrito Nacional completo sea abastecido continuamente y con presiones dinámicas superiores a 10 mca.

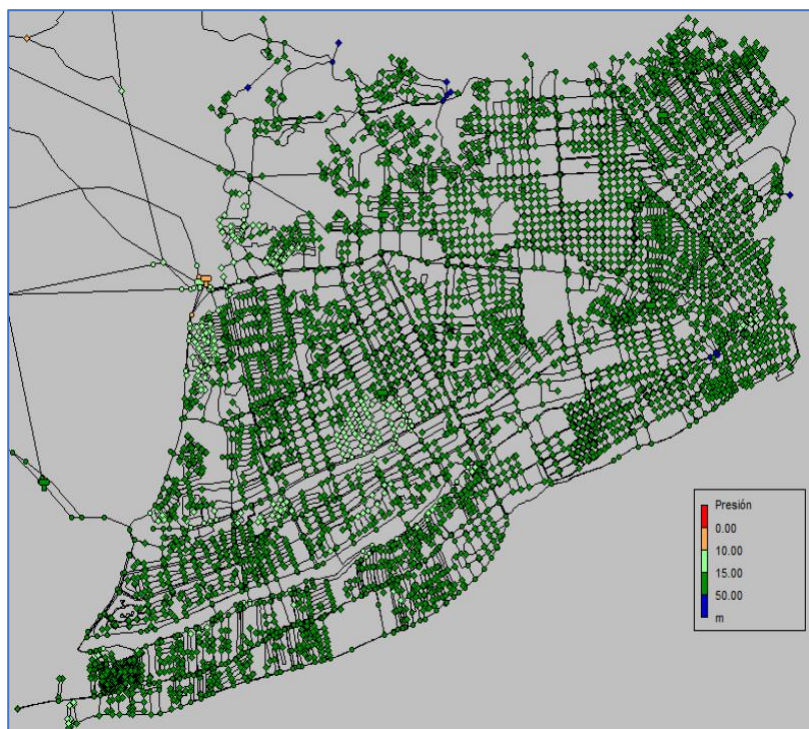


Figura XLIV: Presiones mínimas luego de realizadas las actuaciones propuestas. Elaboración propia.

5.4 Valoración Económica de las Actuaciones

En este apartado, se mostrará un resumen de los costos de cada actuación, los análisis unitarios serán adjuntados al final como anexos.

5.4.1 Válvulas Reductoras de Presión

Tabla XXXII: Costo del suministro e instalación de las válvulas reductoras de presión. Elaboración propia.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UD	PU (USD\$)	TOTAL (USD\$)
Suministro e instalación de válvula reductora de presión 8''	2.00	Ud.	3,535.73	7,071.45
Suministro e instalación de válvula reductora de presión 10''	2.00	Ud.	4,415.96	8,831.91
Suministro e instalación de válvula reductora de presión 12''	5.00	Ud.	8,235.61	41,178.06
Suministro e instalación de válvula reductora de presión 16''	7.00	Ud.	10,186.12	71,302.82
Suministro e instalación de válvula reductora de presión 20''	2.00	Ud.	11,788.43	23,576.86
				151,961.10

5.4.2 Reemplazo de Tuberías

Tabla XXXIII: Costo del suministro e instalación de tuberías. Elaboración propia.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UD	PU (USD\$)	TOTAL (USD\$)
Suministro e instalación de tubería PVC 3'' p/ agua potable	1750.40	m	22.33	39,094.77
Suministro e instalación de tubería PVC 4'' p/ agua potable	2295.97	m	23.75	54,518.06
Suministro e instalación de tubería PVC 6'' p/ agua potable	7201.56	m	29.82	214,726.30
Suministro e instalación de tubería PVC 8'' p/ agua potable	1256.73	m	33.82	42,498.14
Suministro e instalación de tubería PVC 10'' p/ agua potable	478.07	m	37.13	17,748.64
Suministro e instalación de tubería PVC 12'' p/ agua potable	2938.79	m	39.40	115,786.81
Suministro e instalación de tubería PVC 16'' p/ agua potable	541.01	m	44.78	24,226.79
Suministro e instalación de tubería PVC 20'' p/ agua potable	8520.96	m	51.89	442,132.88
				950,732.41

El suministro e instalación de las válvulas reductoras de presión tiene un costo de \$151,961.10 dólares, mientras que el suministro e instalación de los 25 kilómetros de tubería costaría \$950,732.41 dólares, para un total general de \$1,101,693.51 dólares.

Considerando la población de nuestra zona de estudio, que es donde se han realizado las propuestas, estimada para 2020 en 1,043,186 habitantes, la inversión por habitante sería de \$1.05 dólares. Pensando en una programación de recuperación de la inversión, podríamos proponer lo siguiente:

- Si asumimos que, en promedio, un hogar se compone de 5 personas, el Distrito Nacional tendría 208,638.00 hogares, lo que representa el número de abonados del sistema. Dividiendo la inversión total entre el número de abonados tenemos: \$5.28 dólares/abonado.
- Para un sistema de abastecimiento con tarifas residenciales inferiores a \$4.00 dólares/mes, puede que no sea prudente recuperar esta inversión en un único cobro, sin embargo, si se realiza un cobro mensual de \$0.22 dólares/abonado/mes, la inversión es recuperada en un período de dos años y no representaría un aumento significativo en la factura.

Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones

TEMARIO

6. Conclusiones y Recomendaciones



6 Conclusiones y Recomendaciones

El esquema actual de producción y almacenamiento de agua potable, en el Distrito Nacional, no es suficiente para abastecer la demanda de la población de manera continua, por lo que una correcta gestión y programación es vital para el racionamiento de los recursos disponibles.

Para poder gestionar mejor el abastecimiento, se ha dividido el sistema en dos grandes zonas, el Distrito Nacional que es nuestra zona de estudio y los municipios externos que se incluyen por formar parte del sistema, pero que no se analizan. Estas zonas se han subdividido en 5 y 3 sectores, respectivamente.

En el centro del Distrito Nacional, específicamente en los sectores 1 y 2, se registran los niveles de pobreza más bajos de la ciudad, concentrando la mayor actividad económica y siendo poseedores de la mejor infraestructura. En ocasiones, se presentan ciertos problemas de presiones bajas, debido a que se encuentran en la parte más alta de la ciudad.

Sin embargo, la parte noreste del Distrito Nacional, específicamente el sector 5 de la circunscripción 3, concentra la mayor densidad poblacional, las mayores tasas de pobreza y los más bajos accesos a infraestructura de calidad y servicios básicos, lo que se evidencia en las deficiencias de sus redes de distribución.

Para mejorar el suministro, se ha realizado una programación en la que se logró abastecer los 5 sectores del Distrito Nacional de forma continua, mientras que los 3 sectores externos tendrán cortes programados; de 04:00 a 9:00 para los sectores 6 y 7 (Santo Domingo Oeste, Los Alcarrizos y Pedro Brand) y en el sector 8 (Bajos de Haina, San Cristóbal y Villa Altagracia) el horario de suspensión será de 12 a 18:00.

Debido a las condiciones topográficas, el sector 3 (al sur del Distrito) presenta presiones por encima de 50 mca, lo que pudo ser regulado con la instalación de 18 válvulas reductoras de presión (VRP) de diversos diámetros y el cierre de 82 tuberías.

Estas son mejoras que se proponen para que puedan realizarse de manera inmediata, siendo rápidas, efectivas y de bajo costo. Sin embargo, existen zonas en las que no se logra proporcionar el servicio y que requieren de inversiones mayores. Por esto se propone el reemplazo de 210 tramos de tubería, que representan aproximadamente el 2% de la red, para poder abastecer sectores donde las demandas son muy elevadas para la capacidad de las redes instaladas.

Las inversiones a realizar suman \$1,101,693.51 dólares, repartidos en \$151,961.10 dólares para la colocación de válvulas y \$950,732.41 dólares para el reemplazo de tuberías.

Las oportunidades de mejora son inmensas, debido a las deficiencias que presenta el sistema, por lo que se proponen las siguientes actuaciones futuras:

- Instalación de caudalímetros en puntos estratégicos de la red.
- Instalación de contadores en los domicilios.
- Programa de renovación e instalación de tuberías y accesorios.



-
- Programa de educación a la población, con el fin de optimizar el uso del agua.
 - Análisis detallado del funcionamiento y rendimiento del sistema, disponiendo de los datos de inyecciones y consumos.
 - Mantenimiento, modernización y estudios de posible ampliación de las plantas de tratamiento de agua potable.
 - Especificar un programa de localización, supresión y seguimiento de las fugas de la red.

7 Siglas, Abreviaturas y Glosario de Términos

7.1 Siglas y Abreviaturas

- **BM:** Banco Mundial
- **BID:** Banco Interamericano de Desarrollo
- **PIB:** Producto Interno Bruto
- **UPV:** Universidad Politécnica de valencia
- **ITA:** Instituto Tecnológico del Agua
- **IWA:** International Water Association
- **ONE:** Oficina Nacional de Estadísticas
- **CAASD:** Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo
- **INAPA:** Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados
- **CORAASAN:** Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santiago
- **CORAAPLATA:** Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Puerto Plata
- **CORAAMOCA:** Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Moca
- **CORAAROM:** Corporación de Acueducto y Alcantarillado de La Romana
- **CORAAVEGA:** Corporación de Acueducto y Alcantarillado de La Vega
- **CORAABO:** Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Boca Chica
- **EAAB:** Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
- **MIMARENA:** Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- **ETAP:** Estación de Tratamiento de Agua Potable
- **AC:** Asbesto-Cemento
- **HD:** Hierro Dúctil
- **HF:** Hierro Fundido
- **HG:** Hierro Galvanizado
- **PVC:** Cloruro de Polivinilo
- **msnm:** Metros Sobre el Nivel del Mar
- **hab.:** Habitante
- **km:** Kilometro
- **m:** Metro
- **mm:** Milímetro

- **pulg.:** Pulgada
- **L:** Litro
- **S:** Segundo
- **LPS:** Litros por Segundo
- **mca:** Metros de Columna de Agua
- **m/s:** Metros por segundo
- **m/km:** Metros por Kilómetro
- **L/hab./día:** Litros por habitante por día
- **Q:** Caudal
- **ANR:** Agua No Registrada
- **Q_{ANR}:** Caudal de Agua No Registrada
- **VRP:** Válvula Reductora de Presión
- **ZAP:** Zona de Alta Presión

7.2 Glosario de Términos

- **Recurso Hídrico:** Son los cuerpos de agua que existen en el planeta.
- **Cuenca:** Territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar.
- **Afluente:** Arroyo o río secundario que desemboca o desagua en otro principal.
- **Hidráulica:** Rama de la física que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos.
- **Carga Hidráulica:** También, altura piezométrica o nivel piezométrico, es una medida específica de la presión de un líquido por encima de un datum geodésico.
- **Cota:** Altura de un punto sobre un plano de nivel.
- **Presa:** Muro grueso de piedra u otro material que se construye a través de un río, arroyo o canal, para almacenar el agua a fin de derivarla o regular su curso fuera del cauce.
- **Dique:** Muro o construcción, de menores proporciones que las presas, para contener las aguas.
- **Derivación:** Acción y efecto de sacar o separar una parte del todo, o de su origen y principio; como el agua que se saca de un río para una acequia.
- **Válvula:** Dispositivo que regula el paso de un fluido por un conducto.
- **Escala:** Tamaño de un mapa, plano, diseño, etc., respecto a las dimensiones reales.
- **Per Cápita:** Por cabeza, por cada individuo.
- **Socioeconómico:** Perteneciente o relativo a los factores sociales y económicos.

- **Hacinamiento:** Acción y efecto de amontonar, acumular, juntar sin orden.
- **Densidad de Población:** Número de individuos de la misma especie que viven por unidad de superficie.
- **Agua Potable:** Agua apta para el consumo humano.
- **Potabilización:** Hacer potable (apto para consumo humano) un líquido.
- **Agua Residual:** Agua que procede de viviendas, poblaciones o zonas industriales y arrastra suciedad y detritus.
- **Abastecimiento:** Cosa de la que se abastece a una persona o población para cubrir ciertas necesidades, en nuestro caso agua.
- **Filtro:** Materia porosa, como el fieltro, el papel, la esponja, el carbón, la piedra, etc., o masa de arena o piedras menudas, a través de la cual se hace pasar un líquido para clarificarlo de los materiales que lleva en suspensión.
- **Infiltración:** Acción y efecto de introducir suavemente un líquido entre los poros de un sólido.
- **Bombeo:** Acción de elevar agua u otro líquido por medio de una bomba.
- **Red de Distribución:** Conjunto de elementos organizados para el reparto de un producto, en nuestro caso, conjunto de tuberías conectadas para el reparto de agua.
- **Sequía:** Tiempo de carencia de agua de larga duración.
- **Modelo Matemático:** Esquema simplificado e idealizado, constituido por símbolos y operaciones (relaciones) matemáticas.
- **Altimetría:** Conjunto de operaciones para medir y representar las cotas de un terreno.
- **Nudo:** Punto de una red en que se unen las conducciones.
- **Tubo:** Pieza hueca, de forma por lo común cilíndrica y generalmente abierta por ambos extremos, por donde se lleva el agua, los gases combustibles, etc.
- **Caudal:** Cantidad de agua que mana o corre.
- **Demanda:** Cantidad de mercancías o servicios que los consumidores piden, en nuestro caso, cantidad de agua que los ciudadanos consumen.
- **Dotación:** Cantidad de agua que se asigna para cada habitante, industria o actividad.
- **Depósito o tanque:** Lugar o recipiente de gran tamaño donde se deposita agua.
- **Macromedición:** Mediciones de caudal a gran escala, en redes principales de distribución y grandes consumidores.
- **Micromedición:** Mediciones de caudal a pequeña escala, normalmente en las residencias y pequeños comercios.

- **Abonado:** Que está afiliado a un servicio, una publicación o un espectáculo.
- **Contador:** Mecanismo o sistema que indica el resultado de una sucesión numérica o del paso de un fluido.
- **Caudalímetro:** Proporciona información sobre el caudal circulante en cada instante, a diferencia del contador, que almacenan el consumo total ocurrido desde la instalación hasta la fecha de lectura.
- **Fuga:** Salida accidental de gas o de líquido por un orificio o una abertura producidos en su contenedor.
- **Agua Superficial:** Son aquellas que se encuentran sobre la superficie del planeta. Esta se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas.
- **Agua Subterránea:** Representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, bajo la superficie de la Tierra, tanto en el suelo como en el subsuelo.
- **Acuífero:** Un acuífero es un terreno rocoso permeable dispuesto bajo la superficie, en donde se acumula y por donde circula el agua subterránea.

Estas definiciones fueron obtenidas de: Diccionario de la Lengua Española (ASALE & RAE, 2019); Wikipedia (Wikipedia, 2019); y el Instituto Tecnológico del Agua (ITA) de la Universidad Politécnica de Valencia (ITA, 2019).

8 Bibliografía

ADN. (2017). *Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Nacional POT Capital 2030*. Ayuntamiento del Distrito Nacional. http://adn.gob.do/index.php?option=com_content&view=article&id=826&Itemid=831

ADN. (2019). *Sistema de Información Urbana (SIU) del Distrito Nacional*. Ayuntamiento del Distrito Nacional. http://adn.gob.do/index.php?option=com_content&view=article&id=730&Itemid=822

ASALE, & RAE. (2019). *Diccionario de la lengua española | Edición del Tricentenario*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/>

Banco Mundial. (2012). *Latinoamérica: Apuesta renovada para ofrecer acceso universal al agua*. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2012/08/30/agua-saneamiento-america-latina>

CAASD. (2018). *Sistemas de Agua Potable*. Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo. <http://www.caasd.gob.do/index.php/informacion/sistemas-de-agua-potable>

CAASD. (2019a). *CAASD - Historia*. Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo. <http://caasd.gob.do/index.php/sobre-nosotros/historia>

CAASD. (2019b). *Producción de Agua para Datos Abiertos*. Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo. <http://caasd.gov.do/index.php/informacion/produccion-de-agua-para-datos-abiertos>

Cabrera, E., Almandoz, J., Arregui, F., & García-Serra, J. (1999). Auditoría de Redes de Distribución de Agua. *Ingeniería del Agua*, 6. <https://doi.org/10.4995/ia.1999.2794>

CDN. (2020). *Comisión Bicameral asegura se aprobará proyecto de Ley de Agua en legislatura extraordinaria* [Noticias]. CDN. <https://cdn.com.do/2020/01/16/comision-bicameral-asegura-se-aprobara-proyecto-de-ley-de-agua-en-legislatura-extraordinaria/>

Conejos Fuertes, P. (2015). *Desarrollo E Implementación De Un Modelo Realista De Demandas Y Fugas Dependientes De La Presión Para Redes De Distribución De Agua Urbana* [Universitat Politècnica de València]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/59798>

Ley No. 498, que crea la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo, 498, 9298 (1973). <http://www.consultoria.gov.do/consulta/>

García, S. I. (2014). *Estudio de la red de distribución de agua potable de Santo Domingo, Distrito Nacional, República Dominicana. Análisis y propuestas de posibles mejoras*. [Universidad Politècnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/43830>

Garzón, A., & Ortiz, R. (2014). *Determinación De Consumos Reales De Agua Potable Para Usuarios Residenciales De La Ciudad De Bogotá*. XIII Simposio Iberoamericano De La Red De Agua Alcantarillado Y Drenaje, Brasil.

https://www.researchgate.net/publication/281639174_DETERMINACION_DE_CONSUMO_S_REALES_DE_AGUA_POTABLE_PARA_USUARIOS_RESIDENCIALES_DE_LA_CIUDAD_DE_BOGOTA?enrichId=rgreq-68429ee233dbaabb5fd11cc82450b039-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4MTYzOTE3NDtBUzoyNzIxNzMyMzk2MzE4OTdAMTQ0MTkwMjU2NTgxMg%253D%253D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf

Howard, G., & Bartram, J. (2003). Domestic Water Quantity, Service Level and Health. *World Health Organization*, 39. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/67884/WHO_SDE_WSH_03.02.pdf

INAPA. (2018). *Reglamento Técnico para Diseño de Obras e Instalaciones Hidro-Sanitario*. Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados. <http://www.inapa.gob.do/transparencia/index.php/base-legal-de-la-institucion/category/422-resoluciones-y-reglamentos>

ITA. (2019). *ITA - Gestión Sostenible del Agua Urbana*. Instituto Tecnológico del Agua. <https://www.ita.upv.es/index-es.php>

IWA. (2018). *Indicadores de Desempeño para Servicios de Abastecimiento de Agua*. (3a ed.). Universitat Politècnica de València. www.lalibreria.upv.es

Martínez Solano, F. J. (2018). *Tema 5—Estudio detallado de consumos (AMRDA)*. Universidad Politècnica de Valencia.

MIMARENA. (2019a). Características Biofísica Cuenca Río Nizao. *Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. <https://ambiente.gob.do/cuencas-hidrograficas/nizao/>

MIMARENA. (2019b). Descripción Biofísica Cuenca Ozama. *Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. <https://ambiente.gob.do/cuencas-hidrograficas/ozama/>

MIMARENA. (2019c). Descripción Biofísica Cuenca Río Haina. *Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. <https://ambiente.gob.do/cuencas-hidrograficas/haina/>

Morillo, Dr. A. (2014). *El Mapa de la pobreza en la República Dominicana 2014* (p. 402). Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo.

ONE. (2012). *IX Censo Nacional de Población y Vivienda (2010)* (p. 549). Oficina Nacional de Estadísticas. <https://www.one.gob.do/censos/poblacion-y-vivienda/censo-2010>

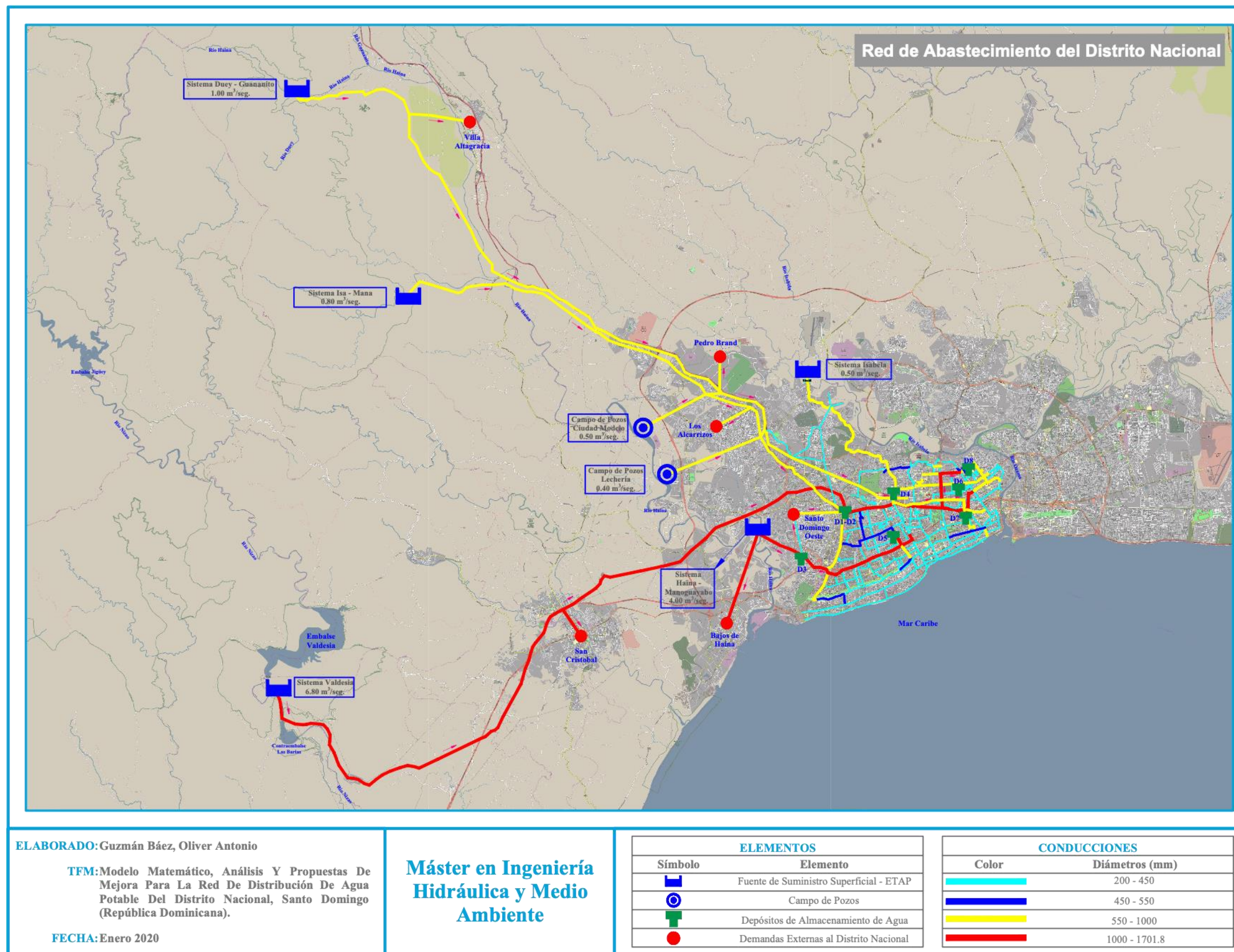
ONE. (2017). División Territorial. En *Oficina Nacional de Estadística*. Departamento de Cartografía, División de Operaciones Cartográficas. <https://www.one.gob.do/publicaciones?ID=5041#>

Rodríguez, F. (2016). *La Cultura del Agua: Una Transformación Social*. Editora Corripio CxA. <https://www.yumpu.com/es/document/read/58507171/libro-cultura-del-agua-una-transformacion-social>

Topographic-Map. (2019). *Mapa topográfico Distrito Nacional*. topographic-map.com. <https://es-do.topographic-map.com/maps/6hus/Distrito-Nacional/>

Wikipedia. (2019). *Wikipedia*. Wikipedia. <https://www.wikipedia.org/>

9 Anexos
9.1 Esquema del Sistema de Abastecimiento



9.2 Valoración Económica de las Actuaciones

9.2.1 Análisis Unitario

SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PVC 3" P/ AGUA POTABLE

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Replanteo	1.00	m	0.30	0.30
Excavación con maquinaria	1.00	m	5.00	5.00
Relleno compactado	1.00	m	9.00	9.00
Tubería PVC 3"	1.00	m	2.93	2.93
Instalación tubería	1.00	m	5.00	5.00
Herramientas y materiales varios	2.00	% Inst. tubería	5.00	0.10
TOTAL, USD\$/ML				22.33

SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PVC 4" P/ AGUA POTABLE

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Replanteo	1.00	m	0.30	0.30
Excavación con maquinaria	1.00	m	5.10	5.10
Relleno compactado	1.00	m	9.00	9.00
Tubería PVC 4"	1.00	m	4.14	4.14
Instalación tubería	1.00	m	5.10	5.10
Herramientas y materiales varios	2.00	% Inst. tubería	5.10	0.10
TOTAL, USD\$/ML				23.75

SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PVC 6" P/ AGUA POTABLE

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Replanteo	1.00	m	0.30	0.30
Excavación con maquinaria	1.00	m	5.20	5.20
Relleno compactado	1.00	m	9.00	9.00
Tubería PVC 6"	1.00	m	10.01	10.01
Instalación tubería	1.00	m	5.20	5.20
Herramientas y materiales varios	2.00	% Inst. tubería	5.20	0.10
TOTAL, USD\$/ML				29.82

SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PVC 8" P/ AGUA POTABLE

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Replanteo	1.00	m	0.30	0.30
Excavación con maquinaria	1.00	m	5.30	5.30
Relleno compactado	1.00	m	9.00	9.00
Tubería PVC 8"	1.00	m	13.81	13.81
Instalación tubería	1.00	m	5.30	5.30
Herramientas y materiales varios	2.00	% Inst. tubería	5.30	0.11
TOTAL, USD\$/ML				33.82

SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PVC 10" P/ AGUA POTABLE

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Replanteo	1.00	m	0.30	0.30
Excavación con maquinaria	1.00	m	5.40	5.40
Relleno compactado	1.00	m	9.00	9.00
Tubería PVC 10"	1.00	m	16.92	16.92
Instalación tubería	1.00	m	5.40	5.40
Herramientas y materiales varios	2.00	% Inst. tubería	5.40	0.11
TOTAL, USD\$/ML				37.13

SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PVC 12" P/ AGUA POTABLE

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Replanteo	1.00	m	0.30	0.30
Excavación con maquinaria	1.00	m	5.50	5.50
Relleno compactado	1.00	m	9.00	9.00
Tubería PVC 12"	1.00	m	18.99	18.99
Instalación tubería	1.00	m	5.50	5.50
Herramientas y materiales varios	2.00	% Inst. tubería	5.50	0.11
TOTAL, USD\$/ML				39.40

SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PVC 16" P/ AGUA POTABLE

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Replanteo	1.00	m	0.30	0.30
Excavación con maquinaria	1.00	m	5.60	5.60
Relleno compactado	1.00	m	9.00	9.00
Tubería PVC 16"	1.00	m	24.17	24.17
Instalación tubería	1.00	m	5.60	5.60
Herramientas y materiales varios	2.00	% Inst. tubería	5.60	0.11
TOTAL, USD\$/ML				44.78

SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PVC 20" P/ AGUA POTABLE

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Replanteo	1.00	m	0.30	0.30
Excavación con maquinaria	1.00	m	5.70	5.70
Relleno compactado	1.00	m	9.00	9.00
Tubería PVC 20"	1.00	m	31.07	31.07
Instalación tubería	1.00	m	5.70	5.70
Herramientas y materiales varios	2.00	% Inst. tubería	5.70	0.11
TOTAL, USD\$/ML				51.89

CÁMARA PARA VÁLVULAS

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Excavación manual	12.10	m3	15.00	181.50
Relleno con grava	1.21	m3	25.00	30.25
Encofrado y desencofrado paredes cámara	19.36	m2	18.41	356.42
Concreto muros 210	1.94	m3	120.00	232.32
Concreto losa inferior 210	1.21	m3	120.00	145.20
Acero losa inferior	210.00	kg	0.80	168.00
Suministro e inst. tapa de concreto	1.00	Ud.	50.00	50.00
TOTAL, USD\$/UD				1,163.69

VÁLVULA REDUCTORA DE 8"

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Cámara p/válvula	1.00	Ud.	1,163.69	1,163.69
Suministro válvula reductora 8"	1.00	Ud.	2,256.54	2,256.54
MO colocación válvula	1.00	Ud.	110.00	110.00
Materiales y herramientas	5.00	% MO	110.00	5.50
TOTAL, USD\$/UD				3,535.73

VÁLVULA REDUCTORA DE 10"

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Cámara p/válvula	1.00	Ud.	1,163.69	1,163.69
Suministro válvula reductora 10"	1.00	Ud.	3,134.46	3,134.46
MO colocación válvula	1.00	Ud.	112.20	112.20
Materiales y herramientas	5.00	% MO	112.20	5.61
TOTAL, USD\$/UD				4,415.96

VÁLVULA REDUCTORA DE 12''				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Cámara p/válvula	1.00	Ud.	1,163.69	1,163.69
Suministro válvula reductora 12''	1.00	Ud.	6,951.80	6,951.80
MO colocación válvula	1.00	Ud.	114.40	114.40
Materiales y herramientas	5.00	% MO	114.40	5.72
TOTAL, USD\$/UD				8,235.61

VÁLVULA REDUCTORA DE 16''				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Cámara p/válvula	1.00	Ud.	1,163.69	1,163.69
Suministro válvula reductora 16''	1.00	Ud.	8,900.00	8,900.00
MO colocación válvula	1.00	Ud.	116.60	116.60
Materiales y herramientas	5.00	% MO	116.60	5.83
TOTAL, USD\$/UD				10,186.12

VÁLVULA REDUCTORA DE 20''				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor
Cámara p/válvula	1.00	Ud.	1,163.69	1,163.69
Suministro válvula reductora 20''	1.00	Ud.	10,500.00	10,500.00
MO colocación válvula	1.00	Ud.	118.80	118.80
Materiales y herramientas	5.00	% MO	118.80	5.94
TOTAL, USD\$/UD				11,788.43

9.2.2 Presupuesto

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UD	PU (USD\$)	TOTAL (USD\$)
TUBERÍAS				950,732.41
Suministro e instalación de tubería PVC 3'' p/ agua potable	1750.40	m	22.33	39,094.77
Suministro e instalación de tubería PVC 4'' p/ agua potable	2295.97	m	23.75	54,518.06
Suministro e instalación de tubería PVC 6'' p/ agua potable	7201.56	m	29.82	214,726.30
Suministro e instalación de tubería PVC 8'' p/ agua potable	1256.73	m	33.82	42,498.14
Suministro e instalación de tubería PVC 10'' p/ agua potable	478.07	m	37.13	17,748.64
Suministro e instalación de tubería PVC 12'' p/ agua potable	2938.79	m	39.40	115,786.81
Suministro e instalación de tubería PVC 16'' p/ agua potable	541.01	m	44.78	24,226.79
Suministro e instalación de tubería PVC 20'' p/ agua potable	8520.96	m	51.89	442,132.88
VÁLVULAS				151,961.10
Suministro e instalación de válvula reductora de presión 8''	2.00	Ud.	3,535.73	7,071.45
Suministro e instalación de válvula reductora de presión 10''	2.00	Ud.	4,415.96	8,831.91
Suministro e instalación de válvula reductora de presión 12''	5.00	Ud.	8,235.61	41,178.06
Suministro e instalación de válvula reductora de presión 16''	7.00	Ud.	10,186.12	71,302.82
Suministro e instalación de válvula reductora de presión 20''	2.00	Ud.	11,788.43	23,576.86
TOTAL GENERAL				1,102,693.51