UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis Hidráulico del Acueducto de Santiago de Puriscal

Informe de Trabajo de Graduación
Para obtener el grado de Licenciado
En Ingeniería Civil

Preparado por:

JORGE MERIZALDE DOBLES

Noviembre 2003

BOLETA DE AUTORIZACIÓN PARA INCLUIR INFORMACIÓN EN LA PÁGINA WEB E INTRANET DEL AyA

Yo, Jorge J. Merizalde Dobles

Cédula: 1-0936-0775

Funcionario (a) del: UEN Programación y Control

Autorizo al Centro de Documentación e Información del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados para incluir en la página WEB y la intranet del AyA la siguente información:

"Análisis hidráulico del Acueducto de Santiago de Puriscal". Tesis de licenciatura en ingeniería civil.

E-mail: jmerizalde@aya.go.cr N. Teléfono: 2242-5256

Firma:

AyA CENTRO DE DOCUMENTACION
* 20 * RECIBIDO

"Ah, tierra nuestra,
[...]
Te busco entre tus ríos, que corren, agitados,
a veces por librarse de la muerte,
ellos, cristales de lo vivo,
acuarios jubilosos y amenazados,
venas del mar, llevando
mucha vida en su núcleo de aguas ciegas."

Julieta Dobles
(Costa Rica poema a poema)

Merizalde Dobles, Jorge
Análisis Hidráulico del Acueducto de Santiago de Puriscal.
Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil. San José, C.R.:
J. Merizalde D., 2003
263h: 62 ils. – 25 refs.

Resumen

El presente trabajo propone cambios en el sistema potable de la Ciudad de Santiago, para mejorar su desempeño actual y de los próximos 25 años. Esto requirió del análisis de los sistemas de producción, y la modelación hidráulica de la red de distribución. Además se proyectaron la demanda y la producción de agua potable en el tiempo.

La modelación hidráulica se desarrolló con la ayuda del programa informático WaterCAD, el cual permitió simular tanto la situación actual de la red de distribución, como los cambios propuestos para optimizar su funcionamiento. Para esto fue necesario proyectar el crecimiento de la población asentada en la zona de cobertura del acueducto, utilizando información censal, municipal y del Registro Nacional. Adicionalmente, se requirió la estimación de la dotación y el consumo promedio de esta población, haciendo uso de los datos de facturación del AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados).

El análisis de los sistemas de producción incluyó la recopilación de datos sobre las fuentes, conducciones, estaciones de impulsión y estructuras de tratamiento del Sistema de Santiago, a partir de visitas al campo, documentos oficiales y entrevistas con funcionarios del AyA. Complementariamente se estimaron los caudales mínimos de las dos fuentes principales del acueducto, haciendo uso del programa informático Colibrí, desarrollado en el Departamento de Hidrología del ICE (Instituto Costarricense de Electricidad) para analizar eventos hidrológicos extremos.

Se concluyó que Santiago no requiere de la explotación de nuevas fuentes, pero es necesario actualizar su red de distribución y su almacenamiento. Se recomendó principalmente: el control de la dotación promedio, el cambio de tubería, la instalación de válvulas reductoras de presión, y la ampliación de tomas, conducciones, plantas de tratamiento y tanques.

SANTIAGO DE PURISCAL; AYA; ANÁLISIS HIDRÁULICO; PROYECCIONES DE POBLACIÓN; DOTACIÓN; WATERCAD; RED DE DISTRIBUCIÓN; CAUDALES MÍNIMOS; PROGRAMA INFORMÁTICO COLIBRÍ.

Ing. Freddy Bolaños C.
Escuela de Ingeniería Civil

ÍNDICE

		Pág.
	ABREVIATURAS	
i	Introducción	1
i.1	Problema General	1
i.2	Problema Específico	3
	i.2.1 Importancia	3
	i.2.2 Antecedentes	5
i.3	Objetivos	7
	i.3.1 Objetivo General	7
	i.3.2 Objetivos Específicos	7
i.4	Metodología	8
i.5	Alcances y Limitaciones	12
	CAPÍTULO 1: Descripción del Área de Estudio	15
1.1	Generalidades	15
	1.1.1 Ubicación	15
	1.1.2 Área de Estudio	18
	1.1.3 Topografía	19
	1.1.4 Clima	20
	1.1.5 Geología	22
	1.1.6 Hidrología	25
1.2	Infraestructura Urbana	26
	1.2.1 Vías de Comunicación	26
	1.2.2 Alcantarillados Pluvial y Sanitario	27
	1.2.3 Electricidad y telecomunicaciones	28
	1.2.4 Recolección y Disposición de Desechos Sólidos	29
	1.2.5 Abastecimiento de Agua Potable	31
1.3	Aspectos Socioeconómicos	32
	1.3.1 Actividades Económicas	32

1.3.2 Demografía 33
1.3.3 Densidad de Población y Saturación 34

1.4 Infraestructura Social 35
1.4.1 Educación 35
1.4.2 Salud 37
1.4.3 Vivienda 38

CAPÍTULO 2: Marco Teórico 41

2.1 Generalidades 41

2.2 Proyecciones de Población 42
2.2.1 Método Aritmético 42
2.2.2 Método Geométrico 43
2.2.3 Método Logarítmico 44
2.2.4 Método Logístico 44

2.3 Dotaciones de Diseño 46

2.4 Análisis de Ocurrencia de Caudales Mínimos 48
2.4.1 Correlación de caudales 48
2.4.1.1 Regresiones 49
2.4.2 Análisis de frecuencia de mínimos 52
2.4.2.1 Generalidades de la Estadística Hidrológica 52
2.4.2.2 Leyes de Probabilidad 54
2.4.2.3 Período de Retorno 56
2.4.2.4 Probabilidad de Ocurrencia del Evento 57
2.4.2.5 Distribuciones de Probabilidad 60
a. Distribución Normal 61
b. Distribución Lognormal 62
c. Distribución Exponencial 62
d. Distribución Gamma 63
e. Distribución Pearson Tipo III 63

2.5 Redes de distribución 64
2.5.1 Expresión de Hazen-Williams 64
2.5.2 Método de Hardy-Cross 66

CAPÍTULO 3: Análisis, Proyección y Distribución de la Población de Diseño 69

3.1 Generalidades 69

3.2	Población pasada y presente	70
3.3	Proyecciones Demográficas	71
3.4	Selección de Proyección Probable	79
3.5	Proyección de la Población en el Área de Estudio	84
3.6	Distribución de la Población en el Espacio y en el Tiempo	85
	CAPÍTULO 4: Consumo y demanda	90
4.1	Generalidades	90
4.2	Distribución de Servicios por Grupo Tarifario	92
4.3	Valores Típicos del País	94
4.4	Valores Propios de la Zona	95
4.5	Dotaciones de Diseño	96
4.6	Proyecciones de la Demanda	101
4.7	Demandas Máxima Diaria y Máxima Horaria	104
4.8	Estimación del Déficit de Agua (Balance Producción - Demanda)	107
	CAPÍTULO 5: Recursos Hídricos de la Región	109
5.1	Generalidades	109
5.2	Aguas Subterráneas	111
5.3	Aguas Superficiales	112
5.3.1	Definición de Cuencas Hidrográficas	112
5.3.2	Análisis de Ocurrencia de Caudales Mínimos	114
5.4	Fuentes Futuras	123
	CAPÍTULO 6: Descripción del sistema actual de abastecimiento de agua potable	127

6.1 Generalidades 127

6.2 Fuentes de Abastecimiento 129
6.2.1 Fuentes Sistema Desamparaditos 129
6.2.2 Fuentes Sistema Cañales – Cañalitos 130
6.2.3 Fuentes Sistema Río Negro – Río Tabarcia 131
6.2.3.1 Primera etapa (toma Río Tabarcia) 131
6.2.3.2 Segunda etapa (toma Río Negro) 133

6.3 Estructuras de Tratamiento 135
6.3.1 Desarenador Río Tabarcia 135
6.3.2 Desarenador Río Negro 137
6.3.3 Plantas de tratamiento de Quitirrisí 139

6.4 Estaciones Impulsoras y Elevadoras de Presión 141
6.4.1 Impulsiones del Sistema Desamparaditos 141
6.4.2 Impulsiones del Sistema Cañales - Cañalitos 142
6.4.3 Impulsiones del Sistema Río Tabarcia – Río Negro 148

6.5 Tuberías de Conducción 151
6.5.1 Conducciones del Sistema Desamparaditos 151
6.5.2 Conducciones del Sistema Cañales - Cañalitos 154
6.5.3 Conducciones del Sistema Tabarcia – Negro 156

6.6 Tanques de Almacenamiento 159
6.6.1 Tanque de concreto 160
6.6.2 Tanque metálico 162

6.7 Red de Distribución 164
6.7.1 Presiones en la red de distribución 168

CAPÍTULO 7: Análisis Hidráulico del Sistema Actual y Futuro 173

7.1 Generalidades 173

7.2 Volumen de Almacenamiento 175
7.2.1 Volumen de Demanda Horaria 175
7.2.2 Volumen de Reserva para Incendios 178
7.2.3 Volumen de Reserva para Interrupciones 179

7.3 Red de Distribución 181
7.3.1 Coeficientes de rugosidad 182
7.3.2 Caudales de diseño 183
7.3.3 Problemas en la red de distribución actual 184

7.4 Medidas Correctivas 189
7.4.1 Correcciones para el sistema actual 189
7.4.2 Correcciones para el futuro 195
2010 195
2020 200
2030 200
7.4.3 Costos preliminares 204

CAPÍTULO 8: Conclusiones y Recomendaciones 205

8.1 Conclusiones 205
8.1.1 Proyecciones demográficas 206
8.1.2 Dotación 207
8.1.3 Demanda y déficit de agua 209
8.1.4 Fuentes de agua 210
8.1.5 Almacenamiento y distribución 212

8.2 Recomendaciones 214
8.2.1 Dotación 214
8.2.2 Sistemas de Producción 215
8.2.3 Almacenamiento y distribución 218

BIBLIOGRAFÍA 221

ANEXOS
1 Proyecciones poblacionales Distrito 1. Santiago 225
2 Proyecciones poblacionales Distrito 2. Mercedes Sur 225
3 Proyecciones poblacionales Distrito 3. Barbacoas 226
4 Proyecciones poblacionales Distrito 5. San Rafael 226
5 Proyecciones poblacionales Distrito 8. San Antonio 227
6 Aforos en l/s (AyA) y caudales promedio diarios en m3/s (ICE) 228
7 Series anuales de caudales mínimos promedio diarios 231
8 Curvas de variación horaria y producción acumuladas 232
9 Presiones actuales en los nudos durante la hora pico (11:00) 235
10 Presiones actuales en los nudos durante la hora valle (22:00) 239
11 Tubería a añadir para corregir el sistema actual 243
12 Válvulas reguladoras de presión a instalar para corregir el sistema actual 244
13 Presiones actuales en los nudos durante la hora pico (11:00), después de las medidas correctivas 245
14 Presiones actuales en los nudos durante la hora valle (22:00), después de las medidas correctivas 249
15 Datos de entrada: Tubos de la red actual de Santiago 253

16	Cálculo de la capacidad de las conducciones del sistema Río Tabarcia – Río Negro	259
17	Pendientes (M), para proyección de población por método logarítmico de los distritos del cantón Puriscal	259
18	Detalle de los costos preliminares de las mejoras propuestas	260
19	Jornadas de bombeo propuestas	263

ÍNDICE DE TABLAS

i.1 Población por distrito y crecimiento anual promedio 4
1.1 Registros promedio de la estación meteorológica de Puriscal 20
1.2 Nacientes de Santiago de Puriscal 25
1.3 Disposición de aguas servidas en Puriscal 27
1.4 Cobertura eléctrica en Pursical 28
1.5 Desglose de la recolección municipal de basura 29
1.6 Composición de la población servida por la recolección 30
1.7 Desglose de la población ocupada 32
1.8 Tasa promedio de crecimiento anual (%) 33
1.9 Población total y saturación del cantón y sus distritos 34
1.10 Comparación de las densidades de población 34
1.11 Número de instituciones y servicios educativos (2003) 35
1.12 Nivel de instrucción para la población de 5 años y más 36
1.13 Mortalidades bruta e infantil (por cada mil habitantes) 37
1.14 Distribución de la zona y el tipo de vivienda 38
3.1 Población censal para el cantón Puriscal 70
3.2 Cobertura del Acueducto de Santiago 71
3.3 Pueblos cubiertos por el Acueducto de Santiago 74
3.4 Cobertura del AyA en el cantón Puriscal 75
3.5 Relación fincas - población 75
3.6 Poblaciones actuales estimadas (2003) 76
3.7 Proyecciones de población según método y distrito 77
3.8 Proyecciones representativas después de las correcciones 83
3.9 Proyecciones de población para la zona de cobertura 84
3.10 Crecimiento de la población por expansión 88
3.11 Crecimiento de la población por incremento de la cobertura 88
3.12 Proyecciones de población considerando el crecimiento 89
4.1 Sectores de Puriscal cubiertos por el AyA 92
4.2 Servicios y consumo para abril de 2002 93
4.3 Dotaciones típicas en Costa Rica 94
4.4 Dotaciones para el cantón Puriscal 95
4.5 Registro mensual de servicios domiciliares (jul-2001 a jul-2002) 97
4.6 Consumo domiciliar mensual (en miles de m^3) 97
4.7 Registro mensual de servicios medidos y servicios fijos 99
4.8 Proyección de la dotación 102
4.9 Proyección de la demanda 103
4.10 Proyección de las demandas máximas 106
4.11 Resumen de producción promedio 107
4.12 Promedio de derivaciones de la planta Quitirrisí 107
4.13 Superávit actual 108
5.1 Caudales mínimos nominales y máximos supuestos de las captaciones 110
5.2 Dimensiones de las cuencas 112

5.3 Estaciones de aforo para los ríos Negro y Tabarcia 115
5.4 Parámetros estadísticos de los datos de estiaje 117
5.5 Caudales mínimos según distribución GEV-L 121
5.6 Posibles fuentes superficiales futuras 124
6.1 Conducción Fuentes - Estación Desamparaditos 152
6.2 Conducción forzada Desamparaditos – Bajo Burgos 152
6.3 Conducción forzada Bajo Burgos – Tanque Barbacoas 153
6.4 Conducción Tanque Barbacoas – Tanque Junquillo (concreto) 153
6.5 Conducciones Sistema Cañales – Cañalitos 155
6.6 Conducciones Toma Río Tabarcia – Planta Quitirrisí 1 156
6.7 Conducciones Toma Río Negro – Planta Quitirrisí 2 157
6.8 Conducción Plantas Quitirrisí – Tanque Junquillo (metálico) 157
6.9 Composición de la red de distribución de Santiago 164
6.10 Puntos de la red donde se registró la presión 168
7.1 Desglose caudales promedio y volúmenes diarios de consumo 176
7.2 Cálculo del volumen para regulación horaria en % Voldiario 177
7.3 Almacenamiento requerido para regulación horaria 177
7.4 Almacenamiento requerido para incendios 178
7.5 Almacenamiento requerido para interrupciones 179
7.6 Volúmenes de almacenamiento (m3) 180
7.7 Salidas del tanque de distribución a la red de Santiago 181
7.8 Coeficientes de rugosidad utilizados 182
7.9 Resumen de tuberías a agregar 189
7.10 Válvulas reductoras de presión en las entradas de la red 190
7.11 Tuberías a aumentar para 2010 196
7.12 Válvulas a regular para 2010 196
7.13 Estimación preliminar de los costos de las obras propuestas 204
8.1 Proyecciones de población sistema potable de Santiago 206
8.2 Proyección de la dotación 207
8.3 Plan de mejoras 218

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 División política de Costa Rica 17
1.2 División política de la provincia de San José 17
1.3 División política del cantón de Puriscal 17
1.4 Área cubierta por la red 18
1.5 Vivienda - Desglose del TOTAL 39
1.6 Vivienda - Ocupantes en Santiago URBANO 39
1.7 Vivienda - Ocupantes en Santiago RURAL 39
3.1 Densidad fincas registradas en área de cobertura Acueducto de Santiago 73
3.2 Proyecciones poblacionales Distrito 1. Santiago 79
3.3 Proyecciones poblacionales Distrito 3. Barbacoas 80
3.4 Proyecciones poblacionales Distrito 5. San Rafael 80
3.5 Proyecciones poblacionales Distrito 6. Candelarita 81
3.6 Proyecciones poblacionales Distrito 8. San Antonio 81
3.7 Permisos de construcción área Acueducto de Santiago 86
3.8 Proyecciones de población total del acueducto 89
4.1 Curva de variación horaria. Santiago de Puriscal 104
5.1 Cuencas hidrográficas Río Negro y Río Tabarcia (Abra, IGN) 113
5.2 Estaciones de aforo para los ríos Negro y Tabarcia 116
5.3 Correlación de caudales estándar Río Negro – Estación El Rey 117
5.4 Correlación caudales estándar Río Tabarcia – Estación El Rey 118
5.5 Caudal mínimo contra Período de Retorno para Río Negro 119
5.6 Caudal mínimo contra Período de Retorno para Río Tabarcia 120
5.7 Producción y Demanda en el período de diseño 121
5.8 Ubicación en el plano de las fuentes tentativas 125
5.9 Distancias de las fuentes tentativas a Santiago 126
6.1 Esquema general de los sistemas de abastecimiento 128
6.2 Toma en el Río Tabarcia 131
6.3 Toma en el Río Negro 133
6.4 Desarenador Río Tabarcia 136
6.5 Entrada de agua al desarenador de Río Negro 137
6.6 Desarenador de Río Negro 138
6.7 Distribución planta de tratamiento Quitirrisí 1 (sin escala) 140
6.8 Interior de la estación Desamparaditos 141
6.9 Exterior de la estación Bajo Burgos 143
6.10 Estación Cañales (nueva) 145
6.11 Bombeo estación Cañales 147
6.12 Búster San Antonio 149
6.13 Sistema Desamparditos 151
6.14 Esquema del sistema Cañales – Cañalitos 154
6.15 Esquema del sistema Tabarcia – Negro 158
6.16 Tanque de concreto (Junquillo) 160

6.17 Bombas junto al tanque de concreto que alimentan Cerbatana 161
6.18 Tanque metálico (Junquillo) 162
6.19 Sectores central y oeste de la red de Santiago 165
6.20 Sector este de la red de distribución de Santiago 166
6.21 Sector sur de la red de distribución de Santiago 167
6.22 Ubicación de los puntos registrados 169
6.23 Registro de Presiones en la red de Santiago 170
7.1 Curvas acumuladas de demanda horaria y producción 176
7.2 Presiones actuales en la red durante la hora pico (11:00) 187
7.3 Presiones actuales en la red durante la hora valle (22:00) 188
7.4 Tubería a añadir para corregir el sistema actual. 191
7.5 Ubicación válvulas reductoras de presión a instalar para sistema actual 192
7.6 Presiones actuales en red durante hora pico (11:00) después de mejoras 193
7.7 Presiones actuales en red durante hora valle (22:00) después de mejoras 194
7.8 Ubicación de las correcciones propuestas para el año 2010 197
7.9 Presiones en red durante hora pico (11:00) después de mejoras 2010 198
7.10 Presiones en red durante hora valle (22:00) después de mejoras 2010 199
7.11 Ubicación de las correcciones propuestas para los años 2020 y 2030 201
7.12 Presiones en red durante hora pico (11:00) después de mejoras 2030 202
7.13 Presiones en red durante hora valle (22:00) después de mejoras 2030 203
8.1 Guía de la ubicación de las mejoras recomendadas 220

ABREVIATURAS

ANC	Agua no controlada
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
CCSS	Caja Costarricense de Seguro Social
CIS	Centro Integrado de Salud
D	Dotación domiciliar
EBAIS	Equipo Básico de Atención Integral de Salud
EF	Dotación por exceso de servicios fijos
esc.	Escala
H.D.	Hierro dúctil
H.F.	Hierro fundido
H.G.	Hierro galvanizado
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
IFAM	Instituto de Fomento y Asesoría Municipal
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IMNCR	Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
l/s	Litros por segundo (caudal)
m^3	Metros cúbicos
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
ND	Dotación no domiciliar
PVC	Cloruro de polivinilo (del inglés "Polyvinyl Chloride")
t	Tonelada (1000 kg)
UCR	Universidad de Costa Rica

i INTRODUCCIÓN

i.1 PROBLEMA GENERAL

Durante años, el Acueducto de Santiago de Puriscal ha presentado una serie de problemas técnicos que le han impedido satisfacer de forma aceptable las necesidades de agua potable de sus habitantes.

La escasez de fuentes de agua potable en la zona de Santiago, el aumento en la población y un sistema de distribución bastante antiguo, han sido las principales causas de la ineficiencia del servicio.

El Gobierno de la República, a través del AyA, ha invertido cuantiosos recursos económicos con el fin de mejorar el sistema para poder así brindar un mejor servicio a esta comunidad. Las mejoras se han dado, incluso recientemente; sin embargo siempre persisten algunos problemas, principalmente el mal funcionamiento hidráulico del sistema de distribución y la falta de almacenamiento, que ocasionan presiones extremas en la red (bajas y altas) e interrupciones del servicio, entre otros problemas.

Las condiciones antes mencionadas se agravan con la alta deforestación de la zona. Por esta razón algunos ríos se han vuelto intermitentes, y la mayoría tienen una turbidez considerable, debido principalmente a la gran cantidad de sedimentos que arrastran. Además, las características del suelo en el cantón no permiten la explotación de sus acuíferos por medio de la utilización de pozos.

Todo esto, aunado a la complicada condición geotécnica de Santiago, hace que el mejoramiento de su abastecimiento de agua potable sea uno de los más costosos del país y con un alto grado de dificultad.

Así, el agotamiento de prácticamente todos los recursos cercanos es la causa principal del déficit de agua potable en esta comunidad.

El presente trabajo incluye un análisis de la capacidad de las principales fuentes hídricas del sistema de Santiago, como justificación de la propuesta de aumentar la captación, con el fin de solventar el mencionado déficit. Además se desarrolló el análisis hidráulico de la red de abastecimiento de Santiago, con el fin de proponer mejoras para el presente y los próximos 25 años.

i.2 PROBLEMA ESPECÍFICO

i.2.1 Importancia

Para el desarrollo socioeconómico de cualquier comunidad, es indispensable contar con un buen acueducto. He aquí la importancia del presente trabajo en beneficio de la ciudad de Santiago de Puriscal, para resolver un problema que ha afectado por muchos años a numerosos usuarios.

Santiago es la cabecera del cantón de Puriscal, y a pesar de su condición geológica y forestal, ha logrado superar la recesión causada por una emigración considerable en el pasado.

En la actualidad, esta población se abastece de agua principalmente de los ríos Negro y Tabarcia; además capta nacientes en Desamparaditos, Cañales y Cañalitos. En total se producen alrededor de 75 l/s, y se abastece aproximadamente 25 000 habitantes.

En la ***Tabla i.1*** se muestran los datos de los últimos tres censos para los distritos del Cantón de Puriscal. Se puede ver que Santiago es uno de los distritos con mayor crecimiento durante los últimos 16 años, con una tasa anual promedio del 2.1%.

Puriscal es una zona de escasos recursos hídricos; además, el clima es cálido y obliga, a los usuarios del acueducto, a consumir más agua.

A pesar de las inversiones recientes que se han realizado en el Acueducto de Santiago de Puriscal, éstas no se hicieron con un criterio integrador que partiera de una concepción técnica comprensiva de todo el

sistema, sobre todo desde el punto de vista de su hidráulica y de las relaciones futuras de oferta y demanda de agua.

Tabla i.1. Población por distrito y crecimiento anual promedio

	1973		1984		2000
Santiago	7178	0.9%	7882	**2.1%**	11026
Mercedes Sur	8643	-2.4%	6628	-1.6%	5092
Barbacoas	2326	0.5%	2446	1.8%	3231
Grifo Alto	1249	-1.6%	1043	0.3%	1096
San Rafael	2075	2.8%	2814	-3.9%	1499
Desamparaditos	483	-0.4%	462	1.3%	568
San Antonio	943	6.5%	1888	2.4%	2780

Fuente: INEC (Censos 1973, 1984, 2000)

La importancia del presente trabajo radica en el establecimiento de un hilo conductor que una la producción de agua potable con su distribución y almacenamiento. Esta labor requiere la correcta definición de las dotaciones efectivas, las zonas de presión y de servicio, y las variaciones diarias y horarias de la demanda.

Los resultados a los que se llegó en este estudio harán posible que Santiago de Puriscal cuente con un abastecimiento de agua satisfactorio durante los próximos 25 años.

i.2.2 Antecedentes

En 1974, el AyA contrató a la empresa INDECA Ltda. para hacer estudios en las poblaciones de: Palmichal de Acosta, Tabarcia, Guayabo, San Antonio, Santiago, Quitirrisí, La Fila, San Juan, Cerbatana y La Legua.

Se propuso la construcción de una captación en el río Tabarcia, con su respectiva planta de tratamiento. Además se recomendaron dos posibles opciones para la línea de conducción. En 1977 el AyA empezó los trabajos para mejorar el acueducto de Santiago de Puriscal. Las obras añadieron 15 l/s al sistema, y entraron en funcionamiento en julio de 1981.

Al siguiente año se integraron los acueductos de varias localidades de Puriscal, Acosta y Mora para bajar los costos. Los problemas de la baja producción de las fuentes y de la imposibilidad de explotar las aguas subterráneas, por condiciones del suelo, fueron solventados al aumentar la eficiencia del sistema con esta integración.

Finalmente, en 1985 y 1986 se propusieron otras mejoras al sistema. La captación de los ríos Tabarcia y Negro, el cambio de los motores en la estación de bombeo de Desamparaditos, la ampliación de algunos almacenamientos, y la protección y reforestación de las áreas de escorrentía de las fuentes de recarga de los acuíferos fueron algunas de las principales recomendaciones. Este proyecto fue financiado por el BID.

Las mejoras aplicadas en aquel entonces permitieron que el sistema cubriera la demanda de agua satisfactoriamente. Sin embargo, el

crecimiento y expansión de la población han causado algunos problemas en el sistema actual.

En este momento, el déficit de agua –que se hará evidente en pocos años-, y el irregular funcionamiento de su red de distribución son los problemas más apremiantes del acueducto. El sistema está cercano a su punto de equilibrio entre producción y demanda, y las presiones extremas en la red son causa constante de fugas e interrupciones del servicio.

i.3 OBJETIVOS

i.3.1 Objetivo General

En general, el propósito de este estudio fue analizar el desempeño del Acueducto de Santiago de Puriscal, desde el punto de vista de la hidráulica de la red de distribución y los sistemas de producción; complementado por la generación de curvas de demanda y producción de agua potable en el tiempo.

i.3.2 Objetivos Específicos

a. Describir el área de estudio.
b. Mencionar características generales, infraestructura urbana, aspectos socioeconómicos, e infraestructura social.
c. Realizar proyecciones demográficas.
d. Calcular la dotación promedio.
e. Estimar el déficit de agua.
f. Realizar un análisis de la situación actual de la red de Santiago.
g. Determinar sus principales problemas operativos.
h. Determinar las medidas que se deben tomar para mitigar los problemas operativos encontrados.
i. Estimar los costos de estas medidas correctivas.
j. Analizar la capacidad mínima de las fuentes mayoritarias.
k. Estimar las demanda futuras.

i.4 METODOLOGÍA

El presente estudio requirió de la recopilación de información variada sobre el Acueducto de Santiago y la zona en general. Esta información se adquirió de documentos oficiales y entrevistas en las instituciones costarricenses involucradas.

Dentro de estas instituciones se encuentran:

1. IFAM (Instituto de Fomento y Asesoría Municipal)
2. IMNCR (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica)
3. IGN (Instituto Geográfico Nacional)
4. INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo)
5. ICE (Instituto Costarricense de Electricidad)
6. Municipalidad de Puriscal
7. CCSS (Caja Costarricense de Seguridad Social)
8. MEP (Ministerio de Educación Pública)
9. AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados)
10. Registro Nacional (Registro Público de la Propiedad)

El primer capítulo resume la labor de recopilación informativa sobre las generalidades y situación del Cantón Puriscal y la zona del Acueducto de Santiago. Fueron necesarias las visitas al IMNCR, al ICE de Puriscal, a la Municipalidad y a la Clínica de la CCSS en Santiago. Se cubrieron las características generales, la infraestructura urbana, los aspectos socioeconómicos, y la infraestructura social del cantón.

La base teórica sobre la que se desarrolló el presente estudio se describe en el segundo capítulo. El trabajo consistió en la revisión de libros de texto que cubrieran los temas de ajuste de datos por modelos de

regresión, proyección de población, hidráulica de redes, probabilidad y análisis de frecuencia para procesos hidrológicos.

El trabajo del tercer capítulo consistió en la proyección del crecimiento poblacional a partir de los datos históricos. Se recopiló información de los cinco censos del INEC, y se realizaron proyecciones del crecimiento con varios modelos (lineal, geométrico, logarítmico y logístico).

Fue necesario además complementar la documentación del INEC con la base de datos de fincas del Registro Nacional para determinar la distribución espacial de la población dentro del distrito de Santiago y las demás zonas cubiertas por su acueducto.

Adicionalmente, a falta de un plan regulador para el desarrollo del cantón de Puriscal, se utilizó la lista de permisos de construcción otorgados por la Municipalidad de Puriscal durante los últimos 3 años. Esta información sirvió para determinar la tendencia de crecimiento de Santiago, y poder predecir el crecimiento cuantitativo y la expansión espacial de la demanda de agua durante los próximos años.

El cuarto capítulo implicó el trabajo con la base de datos de servicio y consumo del AyA. Se analizaron los patrones de consumo en la población servida por el Acueducto de Santiago durante un año. Incluyendo el desglose de tipos de servicio y la información de producción de las fuentes, se logró estimar la dotación promedio del actual acueducto, así como el porcentaje de agua no controlada.

Conocida esta información, y haciendo uso de los resultados encontrados en el capítulo tercero, se proyectó la demanda de agua de los próximos 25 años. De esta forma se determinó el balance actual de producción contra demanda en el acueducto. Adicionalmente, utilizando

el registro de salida del tanque de abastecimiento, se determinó el patrón tipo de consumo y se estimaron los factores de picos máximos diario y horario.

El quinto capítulo recoge el estudio realizado con las dos fuentes mayores del Acueducto de Santiago (Río Negro y Río Tabarcia). Se recopiló información de los aforos realizados a estos ríos desde que se empezaran a captar. Con estos datos se pretendía estimar su capacidad máxima de explotación. Sin embargo, fue necesario recurrir a la información del ICE.

A falta de un registro histórico completo para los ríos en cuestión, se trasladó la información de la estación El Rey (registrada por el ICE) sobre el Río Grande de Candelaria. Mediante un ajuste a modelos de regresión de los aforos del AyA contra el registro de caudales del ICE, se logró crear series de caudales mínimos anuales para los ríos Negro y Tabarcia.

Mediante el análisis de frecuencia de estas series, se hallaron modelos de distribución de probabilidad que relacionaran los caudales mínimos en estos ríos, con sus períodos de retorno. Esto sirvió de guía para estimar y recomendar captaciones máximas de agua en estas fuentes.

El capítulo sexto detalla la configuración de los sistemas que conforman el acueducto en cuestión. La información presentada se obtuvo de planos e informes del AyA así como de visitas al campo. Además, se incluyó información recopilada de trabajos anteriores sobre el Sistema Potable de Santiago, desarrollados como proyectos de graduación y taller de diseño, por estudiantes de la UCR.

Finalmente, en el sétimo capítulo se resume el análisis hidráulico realizado a la red de distribución de Santiago. Se hizo uso del programa

informático WaterCAD, desarrollado por la empresa Haestad para el análisis de redes de tubería cerrada a presión.

La información recopilada en el sexto capítulo sirvió de base para armar el modelo de computadora con el que se simuló el comportamiento actual de la red. Para la calibración de este modelo fue necesario colocar registradores de presión en algunos puntos de la red durante tres días. Se corroboró que el patrón diario de las presiones correspondiera con lo predicho por el modelo de computadora.

A partir del modelo informático calibrado para la red de Santiago, se realizaron algunos cambios para mejorar su funcionamiento. Los escenarios futuros (para los próximos 25 años) con la demanda de agua aumentada también fueron simulados en el programa de computadora. De esta forma se predijeron los problemas futuros de la red y se plantearon las mejoras necesarias.

Todas las conclusiones y recomendaciones derivadas de los análisis desarrollados en el presente estudio se resumieron en el capítulo ocho. Se incluye un plan de mejoras propuesto, que deberá adaptarse a las capacidades operativa y financiera del AyA de Puriscal.

i.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

El estudio se enfocó en el acueducto que abastece a la ciudad de Santiago de Puriscal, San José.

El diseño estructural, y los planos constructivos correspondientes se encuentran fuera del alcance del proyecto.

El sistema de Santiago se evaluó hidráulica e hidrológicamente. El nivel de este proyecto es de pre-diseño, o diseño conceptual.

Específicamente, los resultados del presente estudio se obtuvieron con base en la información disponible actualmente en el AyA, la Municipalidad de Puriscal, el ICE y otros.

Si bien esta información fue suficiente para concluir a satisfacción el presente estudio, se considera que algunos datos inexistentes e importanes sobre Puriscal deberían estar disponibles para estudios posteriores en la zona. A saber:

1. Plan regulador para el desarrollo del cantón. Éste debe considerar los riesgos geotécnicos debidos al conocido macrodeslizamiento de Santiago, y a la crítica situación forestal de la zona, que deriva en problemas de erosión e inestabilidad del suelo.

2. Actualización de los planos de archivo del AyA sobre el sistema potable de Santiago.

3. Mayor detalle en la información sobre la distribución espacial de la población servida por la red.

4. Comunicación efectiva entre el AyA y las municipalidades de Puriscal y Mora para continuar el desarrollo estratégico del proyecto regional de agua potable.

CAPÍTULO 1:

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 Ubicación

Puriscal, el cantón 4to de la provincia de San José de Costa Rica, tiene por cabecera a la ciudad de Santiago. Este cantón se extiende desde la confluencia del río Chucás y la quebrada La Pita, 40 km hacia el sur, hasta el río Chires (cerca del poblado homónimo). Como referencia, las figuras 1.1 y 1.2 muestran la división política del país, y de la provincia de San José, respectivamente.

Su centro está ubicado en los 09°44'04" de latitud norte y 84°22'27" de longitud oeste, y tiene una extensión de 523 km^2. Santiago, su cabecera, se encuentra 47 km hacia el suroeste de la ciudad de San José, entre las coordenadas 202 - 204 N y 501 – 503 E de la cuadrícula Lambert Costa Rica Norte (hoja cartográfica Río Grande del IGN, esc. 1:50 000).

Desde tiempos precolombinos, el actual cantón Puriscal ha sido tierra de paso obligado para guerreros aborígenes, conquistadores españoles y comerciantes.

Los primeros pobladores del actual Santiago empezaron a llegar en 1810 desde Alajuelita, Desamparados y Tibás. El 7 de agosto de 1868, por ley No. 20, Puriscal deja de ser distrito del cantón de Escazú para

convertirse en cantón de San José. Sus distritos se definirían después, de la siguiente forma:

1°. Santiago
2°. Mercedes Sur
3°. Barbacoas
4°. Grifo Alto
5°. San Rafael
6°. Candelaria
7°. Desamparaditos
8°. San Antonio
9°. Chires

La figura 1.3 muestra la división política del cantón, y sus principales poblaciones.

La ley No. 20 le confiere a Santiago el título de Viila el 18 de octubre de 1915. El 20 de julio de 1926, la ley No. 40 le otorga el título de Ciudad.

La primera cañería, instalada entre 1920 y 1923, traía agua desde Mercedes Sur, por gravedad, hasta Santiago. En 1934 se construyó una nueva cañería. El alumbrado público de esta ciudad se inauguró el 25 julio 1926.

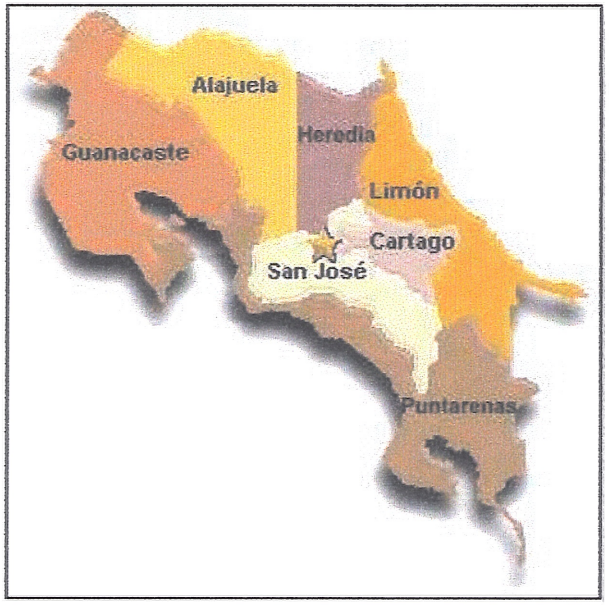


Fig. 1.1. División política de Costa Rica.

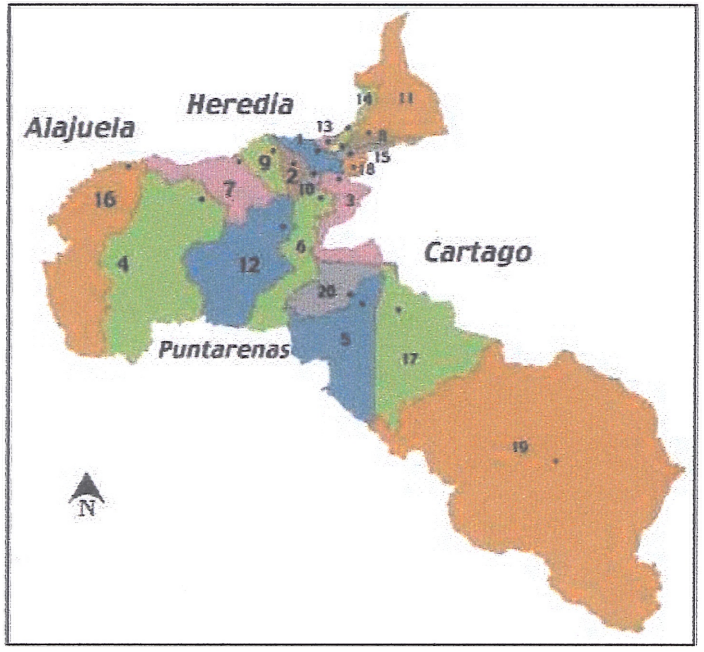


Fig. 1.2. División política de la provincia de San José.

Nota: Puriscal es el cantón 4to.



Fig. 1.3. División política del cantón de Puriscal

1.1.2 Área de Estudio

El presente trabajo analiza el sistema de abastecimiento de agua potable para la Ciudad de Santiago de Puriscal. La red potable de la ciudad cubre aproximadamente 7.5 km², en 99 manzanas de facturación. La figura 1.4 muestra el área cubierta por la red de distribución.

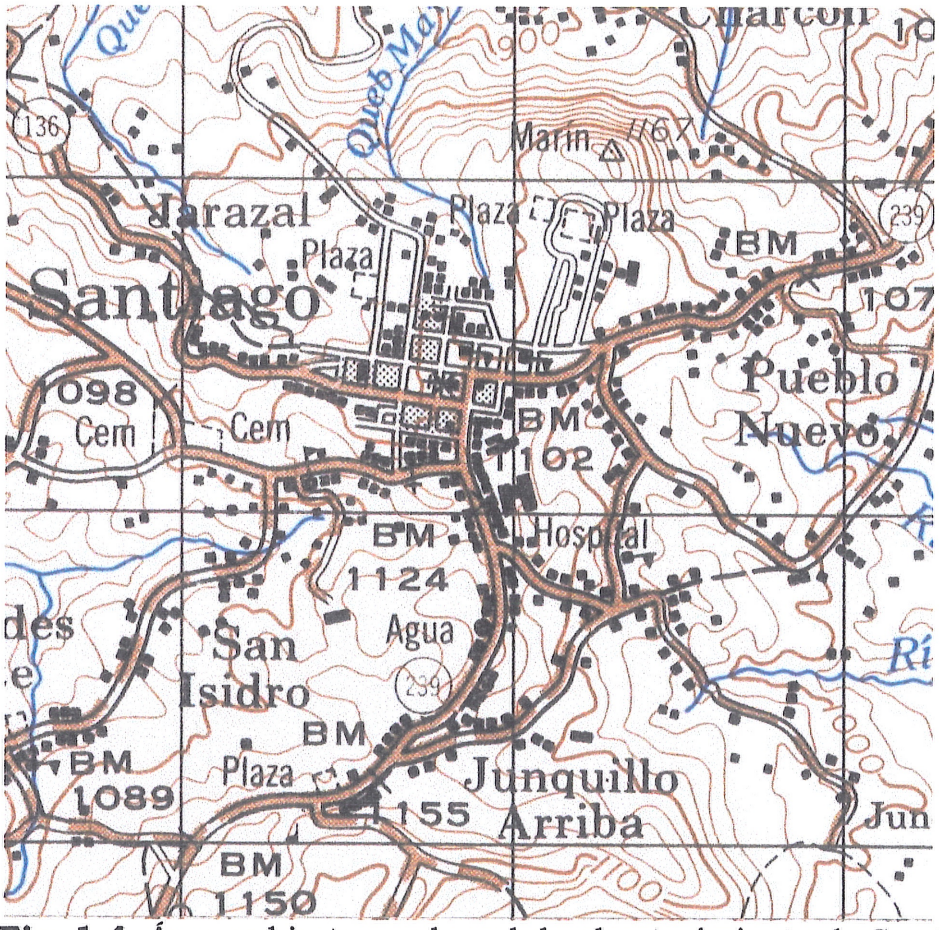


Fig. 1.4. Área cubierta por la red de abastecimiento de Santiago.

El área en cuestión se alimenta de los tanques de almacenamiento de Junquillo (al sur de Santiago), cuya capacidad conjunta es de 1200 m³.

El agua de estos tanques, sin embargo, provee además a otros poblados cercanos. Tal es el caso de Mercedes Norte, Cerbatana, Candelarita, Cañales y, Pozos.

1.1.3 Topografía

El cantón Puriscal se halla entre los cerros de Turrubares y los cerros de Candelaria.

La Ciudad de Santiago se encuentra sobre una pequeña meseta, alrededor de la cual el terreno desciende en casi todas las direcciones. Solamente hacia el sur de la ciudad las elevaciones son similares o mayores.

El parque en el centro de la Ciudad de Santiago está en la cota 1100 m.s.n.m. En general, la zona y sus alrededores presentan pendientes muy pronunciadas y topografía bastante irregular. Dentro del mismo casco urbano, hay puntos hasta 70m más altos y hasta 50m más bajos que el centro.

Precisamente, en el punto más alto de la ciudad se construyó el nuevo tanque de almacenamiento de Junquillo, que recibe el agua de la primera y segunda etapas del Acueducto Regional de Puriscal y Mora.

1.1.4 Clima

La zona de Puriscal corresponde al bosque húmedo premontano, según la clasificación de zonas de vida de Holdridge; o al bosque lluvioso tropical submontano siempreverde, según la clasificación de macrotipos de vegetación de Gómez y Herrera (INBio, 2003). Esta región tiene clima húmedo y caliente, con una estación seca que se considera larga (más de 70 días).

La tabla 1.1 presenta las variables climáticas registradas por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, mediante la estación Puriscal, la cual funcionó desde 1940 hasta 1994.

Tabla 1.1. Registros promedio de la estación meteorológica de Pursical

PURISCAL

INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL
GESTION DE INFORMACION Y COMERCIALIZACION
PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS

ESTACION PURISCAL		No. 88001		Lat. 09° 51'N		Long. 84° 19'O				Altitud 1102 m.s.n.m.			
Elementos	**Periodo**	**Ene.**	**Feb.**	**Mar.**	**Abr.**	**May.**	**Jun.**	**Jul.**	**Ago.**	**Set.**	**Oct.**	**Nov.**	**Dic.**	**Anual**
LLUVIA	1940-94	27.0	22.3	60.9	133.9	353.9	304.4	249.4	310.2	391.9	430.8	180.0	59.9	**2525**
TEMP.MAX.	1971-80	26.0	26.8	27.3	26.7	25.3	24.7	25.4	25.2	24.3	23.8	24.0	25.0	**25.4**
TEMP.MIN.	1971-80	14.6	14.7	15.5	16.5	16.3	16.5	16.6	16.6	16.6	16.4	16.4	14.8	**16.0**
TEMP.MED.	1971-80	20.3	20.8	21.4	21.6	20.8	20.6	21.0	20.9	20.5	20.1	20.2	19.9	**20.7**
HUMEDAD	1972-80	77	75	78	80	88	89	86	89	92	91	88	81	**84.5**
BRILLO SOLAR	1974-79	8.0	8.5	8.2	5.1	4.0	3.8	4.9	4.9	3.4	2.8	4.8	6.3	**5.4**

Humedad Relativa en %
Lluvia en Milimetros – 1mm. = 1 litro por m².
Elaboró: **a.erak**

Brillo Solar en Horas.
Temperaturas en grados Celsius

Fuente: IMNCR

En promedio, Puriscal recibe más de 2500 mm de lluvia al año, con estación lluviosa entre mayo y noviembre. Hay un pico máximo en octubre.

El régimen de lluvias del cantón se considera moderado para Costa Rica. Las lluvias de alta intensidad (140 mm/h por 15 min., ó 70 mm/h por 60 min.) tienen un período de retorno de 10 años.

La evapotranspiración potencial de la zona varía entre 176 mm (en marzo) y 120 mm (en noviembre). Durante la época lluviosa, los acuíferos se recargan, pues la evapotranspiración es menor a la precipitación.

Sin embargo, Peraldo (1996) observó que la deforestación casi generalizada es una realidad en la zona. La mayor parte de la vegetación primaria se ha perdido, y los procesos erosivos se dan intensamente. Esto ha afectado el paisaje, las condiciones climáticas, y la calidad de vida de los pobladores.

1.1.5 Geología

El territorio del cantón Puriscal se ubica sobre dos formaciones vecinas: Grifo Alto y La Cruz. Éstas a su vez pertenecen al complejo volcánico Montes del Aguacate y descansan sobre el basamento regional del complejo Ofiolítico de Nicoya.

En general, el cantón Puriscal se constituye geológicamente como un depósito de lava y materiales piroclásticos de fuentes cercanas, sobre el que yace material volcánico y sedimentario con algunas intrusiones ígneas.

Estas intrusiones han alterado el medio generando grandes cantidades de arcilla y suelo saprolítico. El hidrotermalismo que producen estas intrusiones ha causado un complejo sistema de fallas que subyacen la ciudad, y que se activan con la lluvia y los sismos.

Producto de esto, el suelo residual en el centro de Santiago llega a tener profundidades de hasta 60 m. Las pruebas de penetración indican una resistencia del suelo inaceptablemente baja incluso a 25 m de profundidad.

Este conjunto de características es la causa del macrodeslizamiento que afecta a Santiago, y que ha dañado muchas de sus estructuras en diferentes ocasiones. Algunas de las más importantes son: la iglesia (semidestruida e inutilizada), el hospital (destruido y reubicado), el mercado y el gimnasio (reconstruidos).

En el enjambre sísmico de 1990 se registraron alrededor de 30 000 movimientos telúricos. Los desplazamientos más dañinos se produjeron a causa del gran sismo de diciembre de ese año.

Por fotometría se ha estimado que el macrodeslizamiento se mueve entre 5 y 15 cm por año. Se calcula que la masa deslizante que afecta directamente a Santiago es de unos 195 $x10^6$ m^3, y que el fenómeno abarca hasta 4 km^2 (400 ha).

Se han detectado capas profundas (alrededor de 20 m) con una humedad muy cercana al límite líquido, que se cree son las superficies de falla de este deslizamiento.

La problemática condición geotécnica de Puriscal se conoce por lo menos desde principios del siglo XX. La Universidad de Costa Rica ha planteado y realizado numerosos estudios sobre el tema, pero aún no se ha tomado ninguna medida.

El deslizamiento está activo todo el año, especialmente durante la época lluviosa. Se sabe que los movimientos sísmicos lo exacerban, que el problema es degenerativo y que se expande. Sin embargo se cree que el deslizamiento es además causado en parte por factores antropogénicos, como la erosión, la deforestación, las actividades ganaderas y agrícolas, y el crecimiento urbano no planificado.

Las investigaciones realizadas por la UCR indican que la solución más eficiente sería el abatimiento generalizado del nivel freático por debajo de la superficie de falla. Para esto, se propone excavar una red de galerías o trincheras, debajo de la ciudad, que drenen el agua subterránea.

Este proyecto requeriría un monitoreo previo de la zona utilizando pluviómetros, inclinómetros, piezómetros, pozos de observación y

tecnología GPS, con el fin de obtener un perfil hidrogeológico de la zona. Ocampo (2002) hace un planteamiento detallado de esta instrumentación y calcula que se requerirían por lo menos 2 años de medición.

La viabilidad del proyecto radica entonces en su relación costo – beneficio. Según Aymerich (2000), el valor estimado de la tierra y las viviendas registradas en la municipalidad de Puriscal asciende a los $103 millones. Esta cantidad no considera completamente el valor del comercio ni de la infraestructura pública, por lo que se cree que subestima el valor de Santiago. El mismo autor calcula que el costo de la solución propuesta es de $15 millones.

El acueducto de Santiago de Puriscal es vulnerable (como cualquier otra obra de infraestructura pública en la zona) a los efectos de este problema. La calidad del servicio, y los costos de operación y mantenimiento dependen directamente de las soluciones que se ejecuten.

1.1.6 Hidrología

El cantón Puriscal pertenece a la vertiente del Pacífico de Costa Rica.

Ninguno de los ríos, nacientes o quebradas cercanos al centro de Santiago se aprovechan actualmente, pues además de ser pequeños, su caudal ha mermado a causa de la fuerte deforestación sufrida en la zona, especialmente durante la última mitad del siglo XX. La tabla 1.2 muestra las nacientes conocidas en Santiago.

Tabla 1.2. Nacientes de Santiago de Puriscal

Naciente	Q (l/min)	Ubicación
Luis Vedoya	-	Actual Banco de Costa Rica
Pilas del Padre	7.0	Detrás de la Iglesia
-sin nombre-	17.0	100 m detrás de la Iglesia
Rastro	10.0	Antiguo Rastro
-sin nombre-	2.5	Terrenos de Prudencio Quesada
Antiguo Trapiche	13.0	Hogar de ancianos
Isaías Delgado	-	100 m N de la esq. SO del parque
Ña Chepa	-	100 m S y 100 m E de la esq. SO del parque
Víctor Arroyo	-	Cercanías de CONTRASULI

Fuente: Peraldo (1996)

Santiago está ubicada sobre una meseta angosta, drenada al norte principalmente por el Río Picagres y las quebradas Cebadilla, Cirrí, Marín, Zapote, que descargan al Río Virilla.

Los ríos Chubá, San José, Marín; y las quebradas Claras, Grande, Junquillo, y Vargas, que desaguan en el Río Candelaria; la drenan por el sur.

1.2 INFRAESTRUCTURA URBANA

1.2.1 Vías de Comunicación

La vía principal de ingreso a Santiago de Puriscal es la carretera provincial 239, por el noreste. Para acceder a esta vía, desde San José se debe tomar la carretera nacional 27 (Autopista Próspero Fernández).

De los 47 km entre San José y Santiago de Puriscal, los primeros 20 km son de autopista con dos carriles por sentido, y velocidad máxima de 90 km/h. Los últimos 27 km son de carretera asfaltada con un carril por sentido, con trayectoria sinuosa y paisaje de montaña.

En automóvil, el recorrido toma entre 55 y 65 minutos. Hay un autobús que sale hacia Santiago desde la estación de la Coca-Cola (sector oeste de San José).

1.2.2 Alcantarillados Pluvial y Sanitario

El casco urbano de Santiago, a excepción del resto del cantón, cuenta con una red pluvial. Ésta, sin embargo es muy reducida.

Según el último censo del INEC, Santiago no tiene sistema de recolección de aguas servidas. En el cantón Puriscal la mayoría de los habitantes utilizan un tanque séptico en su casa. La tabla 1.3 desglosa la disposición de las aguas en el cantón.

Tabla 1.3. Disposición de aguas servidas en Puriscal.

	Viviendas	**Habitantes**	**%**
Alcantarilla pública	-	-	0.0
Tanque séptico	6 377	25 505	86.2
Pozo negro o letrina	950	3 622	12.8
Con otro sistema	16	65	0.2
No tiene	56	131	0.8
Total	7 399	29 323	100.0

Fuente: INEC, 2000.

1.2.3 Electricidad y telecomunicaciones

La oficina del ICE en Santiago atiende los sistemas telefónicos y eléctricos de Puriscal, Turrubares y Tabarcia. La tabla 1.4 detalla la cobertura de servicio eléctrico en el cantón Puriscal.

Tabla 1.4. Cobertura eléctrica en Puriscal.

	Viviendas	**Habitantes**	**%**
De CNFL o ICE	7159	28573	96.8
No hay luz eléctrica	240	750	3.2
Total	7399	29323	100.0

Fuente: INEC, 2000.

La red telefónica tiene un cableado total de 100 km, con alrededor de 10 mil teléfonos fijos y 144 públicos instalados, distribuidos entre las centrales 131 (con 8 distritos), 134 (con 1 distrito) y 163 (con 1 distrito).

Entre los planes futuros del ICE (telecomunicaciones) para esta zona, está la cobertura de 10 distritos adicionales para la central 131, 1 para la central 134, y 3 más para la central 163.

Además, se proyecta la entrada en funcionamiento de una central nueva para La Gloria (Distrito Chires, al sur del cantón), así como la ampliación de la central de Puriscal, la instalación de una base celular, y la construcción de un edificio para esta oficina regional.

1.2.4 Recolección y Disposición de Desechos Sólidos

La Municipalidad de Puriscal se encargó de la recolección y disposición de la basura del cantón durante 20 años. Desde 1997, la municipalidad redujo sus actividades a la recolección exclusivamente.

El antiguo vertedero a cielo abierto de Cañales (2.5 km al sur de Santiago) se clausuró, y hoy la municipalidad entrega los desechos a la Empresa WPP, la cual dispone de ellos en el Relleno Regional Mecanizado de Los Mangos.

La WPP recibe los desechos sólidos de Puriscal 6 veces a la semana, a un promedio de 15.7 t/día. La municipalidad paga ¢ 5 400/t por el servicio de tratamiento de la basura.

Para el servicio de recolección se utiliza un camión de 25 yardas (capacidad de 18 a 19 t). Se atiende a Santiago, Mercedes Sur, Barbacoas y San Antonio. La tabla 1.5 muestra los datos de recolección:

Tabla 1.5. Desglose de la recolección municipal de basura.

	1995	2003
Viviendas	2 119	+ de
Comercios	389	3000

Fuentes: Fernández (et al. 1995); Municipalidad de Puriscal (2003)

No hay selección de la basura. La recolección agrupa desechos domésticos, comerciales y hospitalarios.

Sin embargo, según Fernández (et al. 1995), en las zonas rurales de Puriscal cubiertas por la recolección, predominan las prácticas de separar, quemar y enterrar los desechos sólidos. La tabla 1.6 muestra el desglose de la población cubierta por la municipalidad.

Tabla 1.6. Composición de la población servida por la recolección

Área	Proporción
Urbana	82%
Rural	26%

Fuente: Fernández (et al. 1995); Municipalidad de Puriscal (2003)

1.2.5 Abastecimiento de Agua Potable

Santiago toma su agua de los dos tanques de Junquillo. Éstos a su vez, se abastecen de tres fuentes:

Sistema Desamparaditos
Sistema Cañales – Cañalitos
Sistema Río Tabarcia – Río Negro

Las dos primeras fuentes están a una elevación menor que la de Santiago, y la tercera se encuentra a una distancia considerable, por lo que toda el agua que se suministra debe ser bombeada. Por esta razón, los costos de operación de este acueducto son de los más elevados que tiene el AyA. El sistema inclusive deja pérdidas mensuales, que se subsanan con el superávit de otros acueductos, como el del área metropolitana.

Los tres sistemas juntos producen un total que oscila entre 76 l/s y 90 l/s. Esta variación considerable se debe principalmente al sistema Cañales – Cañalitos. Éste tiene variaciones de hasta 10 l/s entre la estación seca y la lluviosa.

Estos tres sistemas alimentan otros poblados además de Santiago. Así, los tanques de Junquillo reciben un total de entre 48 l/s y 60 l/s. Este caudal sin embargo no llega en su totalidad a Santiago, pues como ya se dijo antes, estos tanques cubren las necesidades de otras localidades además de Santiago.

En el capítulo 6 se describe con más detalle el sistema actual de abastecimiento de agua potable de Santiago.

1.3 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

1.3.1 Actividades Económicas

Según el IFAM, las principales actividades agropecuarias de la región son la ganadería, los cultivos de café, tabaco y los estacionales. Existe además una localidad carbonera.

Además, al oeste de la comunidad indígena Huetar de Zapatón (7% de la superficie del cantón) se encuentra la Zona Protectora Cerro La Cangreja, que constituye otro 7% del territorio cantonal.

Según el último censo (ver tabla 1.7), aparte de la ocupación no calificada y la venta en locales y servicios, en el cantón resalta la actividad agropecuaria. En Santiago son importantes, además la producción artesanal y manufactura, y la actividad de nivel profesional y científico.

Tabla 1.7. Desglose de la población ocupada.

	NIVEL DIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN PÚBLICA Y PRIVADA	NIVEL PROFESIONAL Y CIENTÍFICO	NIVEL TÉCNICO Y PROFESIONAL MEDIO	APOYO ADMINISTRATIVO	VENTA EN LOCALES Y SERVICIOS	AGROPECUARIA Y PESCA CALIFICADA	PRODUCTOS ARTESANALES Y MANUFACTURA	MONTAJE Y OPERACIÓN DE MÁQUINAS	OCUPACIÓN NO CALIFICADA	**TOTAL**
C.R.	36 439	114 524	164 723	100 659	183 122	75 579	147 860	138 294	340 346	1 301 546
Puriscal	142	778	736	505	1 511	1 152	920	736	2 448	8 928
Santiago	105	468	423	320	668	172	501	393	622	3 672
C.R.	2.8%	8.8%	12.7%	7.7%	14.1%	5.8%	11.4%	10.6%	26.1%	100.0%
Puriscal	1.6%	8.7%	8.2%	5.7%	16.9%	12.9%	10.3%	8.2%	27.4%	100.0%
Santiago	2.9%	12.7%	11.5%	8.7%	18.2%	4.7%	13.6%	10.7%	16.9%	100.0%

Fuente: INEC, Censo 2000 (CP46).

1.3.2 Demografía

El crecimiento de la población de Puriscal ha sufrido una crisis en los últimos 40 años. Los datos censales (ver tabla 1.8) muestran la dramática emigración, consecuencia probablemente de las problemáticas condiciones geotécnicas del cantón.

Tabla 1.8. Tasa promedio de crecimiento anual (%)

	1950	1963	1973	1984	2000
Santiago	2.33	2.52	0.80	2.12	
Mercedes Sur	4.84	-0.76	-7.85	2.34	
Barbacoas	2.08	-0.30	0.46	1.75	
Grifo Alto	-0.52	-0.57	-1.63	0.31	
San Rafael	2.03	-0.14	2.81	-3.86	
Candelaria	2.28	-1.24	0.90	0.42	
Desamparaditos	0.82	-2.40	-0.40	1.30	
San Antonio	1.91	0.09	6.51	2.45	
Chires	-	-	-	-0.65	
TOTAL Cantón	**2.88**	**0.19**	**0.13**	**1.17**	

Fuente: INEC

1.3.3 Densidad de Población y Saturación

La tabla 1.9 muestra el desglose por distritos de la población y del número de viviendas en el cantón de Puriscal. La saturación se expresa en ocupantes por vivienda.

Tabla 1.9. Población total y saturación del cantón y sus distritos

	Población	**Viviendas**	**Saturación**
PURISCAL	29407	8128	4.0
Santiago	10884	2976	3.9
Mercedes Sur	5082	1478	3.9
Barbacoas	3210	842	4.0
Grifo Alto	1101	301	4.0
San Rafael	1524	411	3.8
Candelaria	1425	374	4.3
Desamparaditos	572	163	4.2
San Antonio	2803	744	4.1
Chires	2806	839	4.1

Fuente: INEC, Censo 2000

Dado que el cantón de Puriscal tiene una extensión de 523 km², su densidad de población es: **56.2 hab/km²**., valor que está por debajo del promedio provincial, y aun por debajo del promedio nacional (ver tabla 1.10).

Tabla 1.10. Comparación de las densidades de población.

	Densidad ***hab/km²***
Cantón Puriscal	56.2
Provincia San José	273.2
Costa Rica	74.8

1.4 INFRAESTRUCTURA SOCIAL

1.4.1 Educación

La tabla 1.11 desglosa las cantidades de los diferentes tipos de instituciones educativas. Se muestran los números para Puriscal y los totales del país.

Proporcionalmente a su población, la estructura educativa en el Cantón Puriscal está por encima del promedio nacional. Nótese que las razones (en miles de habitantes por cada institución educativa) son menores en Puriscal que el promedio en Costa Rica.

Tabla 1.11. Número de instituciones y servicios educativos (año 2003).

	Preescolar	I-II ciclos	Escuela Nocturna	Académica Diurna	Técnica Diurna	Académica Nocturna	Técnica Nocturna	Educación Especial	Total
COSTA RICA *(3 810 179 habitantes)*									
DEPENDENCIA PUBLICA	2103	3649	8	301	75	44	1	1055	7236
DEPENDENCIA PRIVADA	329	267	-	165	2	1	-	11	775
DEPENDENCIA PRIVADA SUBVENCIONADA	20	19	-	17	2	-	1	12	71
TOTAL	2452	3935	8	483	79	45	2	1078	8082
10^3 habitantes / institución	***1.55***	***0.97***	***476***	***7.89***	***48.2***	***84.7***	***1905***	***3.53***	***0.47***
PURISCAL *(29 407 habitantes)*									
DEPENDENCIA PUBLICA	60	118	-	5	3	2	-	94	282
DEPENDENCIA PRIVADA	3	3	-	-	-	-	-	-	6
DEPENDENCIA PRIVADA SUBVENCIONADA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	63	121	-	5	3	2	-	94	288
10^3 habitantes / institución	***0.47***	***0.24***	-	***5.88***	***9.80***	***14.7***	-	***0.31***	***0.10***

Fuente: MEP, Departamento de Estadística (Año 2003).

Por otro lado, el nivel de instrucción, en Puriscal, es menor que el promedio nacional (ver tabla 1.12). El porcentaje de población sin instrucción es mayor, y la sección de población con instrucción secundaria académica y universitaria son menores a las del país.

Por el contrario, la situación del distrito Santiago es mejor que la situación nacional. Esto puede deberse a que la naturaleza predominantemente urbana de Santiago concentra más servicios que el resto del Cantón Puriscal.

Tabla 1.12. Nivel de instrucción para la población de 5 años y más (*en miles de habitantes*).

	Ningún grado	Preparatoria o kinder	Primaria	Secundaria académica	Secundaria técnica	Parauniversitaria	Universitaria	Total
Costa Rica	248	109	1 814	774	87.8	50.3	350	3 434
Puriscal	2.32	0.73	15.7	4.89	0.90	0.32	1.98	26.8
Santiago	0.57	0.29	4.69	2.60	0.37	0.20	1.25	9.99

Costa Rica	7%	3%	53%	23%	3%	1%	10%	100%
Puriscal	9%	3%	58%	18%	3%	1%	7%	100%
Santiago	6%	3%	47%	26%	4%	2%	12%	100%

Fuente: INEC, Censo 2000 (CP25).

1.4.2 Salud

Puriscal cuenta con 6 unidades de EBAIS y 1 CIS (Clínica de la CCSS, frente a la Estación de Bomberos).

Según Fernández, Rojas y Vázquez (1995), las principales causas de mortalidad en el cantón son:

1. Tumor de órganos digestivos y peritoneo
2. Enfermedades del aparato respiratorio
3. Enfermedades cardíacas y de circulación pulmonar

Son considerables también la enfermedad cerebro-vascular y las enfermedades en otras partes del aparato digestivo.

En la tabla 1.13 se muestran los indicadores de salud disponibles del país y del cantón.

Tabla 1.13. Mortalidades bruta e infantil (*por cada mil habitantes*).

Costa Rica	**1993**	**2002**
Mortalidad bruta	3.98	4.30
Mortalidad infantil	13.67	11.15

Puriscal	**1992**
Mortalidad bruta	5.14
Mortalidad infantil	11.85

Fuente: CCSS (2003); Fernández (et al. 1995).

La situación de Puriscal es similar al promedio nacional, sin embargo, la mortalidad bruta está considerablemente aumentada.

1.4.3 Vivienda

Los datos de la tabla 1.14 son parte del censo del año 2000, realizado por el INEC. Las figuras 1.5, 1.6, y 1.7 resumen la situación de la vivienda en el Distrito de Santiago.

Tabla 1.14. Distribución de la zona y el tipo de vivienda

	TOTAL			URBANO			RURAL		
	Viviendas	Ocupantes	Promedio	Viviendas	Ocupantes	Promedio	Viviendas	Ocupantes	Promedio
PURISCAL	7401	29407	4.0	1924	7390	3.8	5477	22017	4.0
INDIVIDUAL	7399	29323	4.0	1922	7306	3.8	5477	22017	4.0
Casa indep.	7298	29000	4.0	1903	7270	3.8	5395	21730	4.0
En edificio	10	22	2.2	8	14	1.8	2	8	4.0
Tugurio	72	251	3.5	3	9	3.0	69	242	3.5
Otros	19	50	2.6	8	13	1.6	11	37	3.4
COLECTIVA	2	84	42.0	2	84	42.0	-	-	-
Santiago	2796	10884	3.9	1924	7390	3.8	872	3494	4.0
INDIVIDUAL	2794	10800	3.9	1922	7306	3.8	872	3494	4.0
Casa indep.	2752	10692	3.9	1903	7270	3.8	849	3422	4.0
En edificio	8	14	1.8	8	14	1.8	-	-	-
Tugurio	22	69	3.1	3	9	3.0	19	60	3.2
Otros	12	25	2.1	8	13	1.6	4	12	3.0
COLECTIVA	2	84	42.0	2	84	42.0	-	-	-

Fuente: INEC, Censo 2000

Fig. 1.5.

Vivienda - Desglose del TOTAL

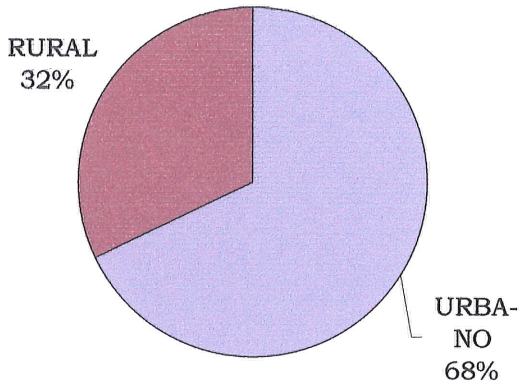


Fig. 1.6.

Vivienda - Ocupantes en Santiago

URBANO

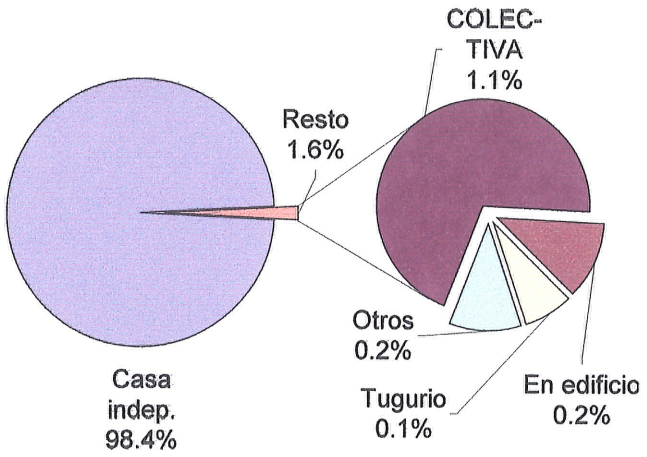
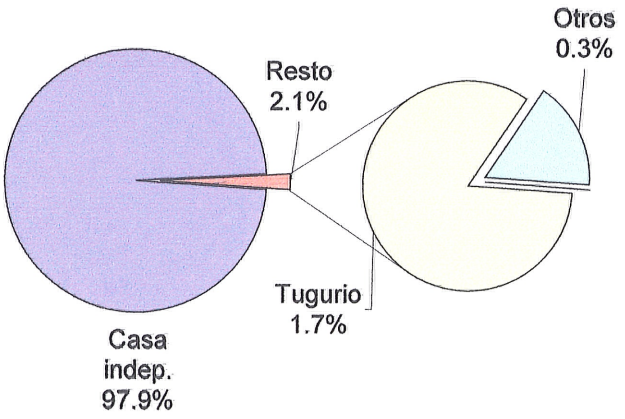


Fig. 1.7.

Vivienda - Ocupantes en Santiago

RURAL



CAPÍTULO 2:
MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES

A continuación se detallan las bases teóricas de los procedimientos seguidos en el presente trabajo.

En los próximos capítulos se desarrollan ajustes de regresión con datos históricos de población, para poder determinar su tendencia de crecimiento y estimar sus valores futuros por extrapolación.

Asimismo, se analizaron los caudales de las dos mayores fuentes del acueducto, para ajustar su comportamiento a un modelo matemático e inferir la magnitud de sus eventos extremos mínimos.

Finalmente, se analizó hidráulicamente el comportamiento actual de la red de distribución de Santiago y se proponen mejoras presentes y futuras.

Los conocimientos científicos aplicados a la práctica del presente trabajo conforman su marco teórico. Esta estructura analítica se resume a continuación en el presente capítulo.

2.2 PROYECCIONES DE POBLACIÓN

2.2.1 Método Aritmético

Este método consiste en hacer una regresión por mínimos cuadrados de los datos, para encontrar una recta de mejor ajuste. Luego, con esta recta se extrapola el valor de la población para los años futuros.

En este caso, el método de mínimos cuadrados se aplica como se indica a continuación. Dada la forma de la función de mejor ajuste:

$$h(año) = m \cdot año + b$$

el método encuentra los parámetros m y b minimizando el error de ajuste:

$$\varepsilon(año_j) = h(año_j) - población_j$$

donde $h(año_j)$ es el valor de la función de ajuste evaluada en cada año observado. Asimismo, $población_j$ es el valor real observado para cada año. Para realizar la minimización, se define la función:

$$F(m,b) = \sum [\varepsilon(año_j)]^2$$

donde m y b son los parámetros de la función de ajuste. Se busca minimizar la función F con respecto a estos parámetros. Esta condición se garantiza haciendo:

$$\frac{\partial F}{\partial m} = 0 \qquad \frac{\partial F}{\partial b} = 0$$

$$\frac{\partial \sum \left[\varepsilon\left(año_j\right)\right]^2}{\partial m} = 0 \qquad \frac{\partial \sum \left[\varepsilon\left(año_j\right)\right]^2}{\partial b} = 0$$

$$2 \cdot \sum_{j=0}^{n-1} \left[\varepsilon\left(año_j\right)\right] \cdot \frac{\partial \varepsilon\left(año_j\right)}{\partial m} = 0 \qquad 2 \cdot \sum_{j=0}^{n-1} \left[\varepsilon\left(año_j\right)\right] \cdot \frac{\partial \varepsilon\left(año_j\right)}{\partial b} = 0$$

Con n el número de datos conocidos para realizar el ajuste.

Evaluando la función $h(año)$ para los años futuros, se obtienen los valores proyectados de población.

2.2.2 Método Geométrico

Haciendo una regresión por mínimos cuadrados de los datos, se encuentra una curva exponencial de mejor ajuste. Las proyecciones se obtienen por extrapolación de esta curva.

La base teórica de este método es similar a la del método aritmético, con la diferencia de que la función de mejor ajuste tiene la forma:

$$h\left(año\right) = b \cdot m^{año}$$

2.2.3 Método Logarítmico

Este método requiere el cálculo previo de las pendientes logarítmicas entre datos históricos contiguos. Estas pendientes se definen así:

$$M = \frac{\ln(POBLACIÓN_{i+1}) - \ln(POBLACIÓN_i)}{AÑO_{i+1} - AÑO_i}$$

Los valores calculados de estas pendientes logarítmicas se muestran en el anexo 17. Las proyecciones se obtienen por extrapolación de la curva logarítmica definida por la expresión:

$$POBLACIÓN_n = POBLACIÓN_1 \cdot e^{\overline{M} \cdot (AÑO_n - AÑO_1)}$$

2.2.4 Método Logístico

Este método supone que toda población tiene un límite superior de crecimiento, al cual se acerca asintóticamente.

El método considera 3 valores de población representativos del rango conocido: la población inicial (P_0), la población final (P_f) y una población intermedia (P_m), de preferencia equidistante en el tiempo a las dos anteriores.

Las proyecciones requieren del cálculo previo de 3 variables. A saber, la población de saturación (S) y dos valores de tipo exponencial (m, b), que se definen de la siguiente forma:

$$S = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_m \cdot P_f - P_m^{\,2} \cdot \left(P_0 + P_f\right)}{\left(P_0 \cdot P_f\right) - P_m^{\,2}}$$

$$m = \frac{S - P_0}{P_0} \qquad b = \frac{1}{AÑO_f - AÑO_m} \cdot \ln\left(\frac{P_0 \cdot \left(S - P_m\right)}{P_m \cdot \left(S - P_0\right)}\right)$$

Las proyecciones de población se calculan según la expresión:

$$P_n = \frac{S}{1 + m \cdot e^{b \cdot \left(AÑO_n - AÑO_0\right)}}$$

2.3 DOTACIONES DE DISEÑO

La dotación es el consumo individual diario promedio en la población de interés. En este caso, Santiago y los pueblos circundantes. Esta variable corresponde a la suma de cuatro componentes:

$$Dotación = D + ND + EF + ANC$$

D: Dotación domiciliar medida:

$$D = \frac{1000 \cdot CMS}{30 \cdot FH}$$

Donde el consumo mensual promedio (CMS) es:

$$CMS = \frac{Vol_{DOMICILIAR.MEDIDO}}{Servicios_{DOMICILIARES.MEDIDOS}}$$

y el factor de hacinamiento tiene unidades de:

$$FH \overset{U}{=} [habitantes / servicio]$$

ND: Dotación no domiciliar medida:

$$ND = \frac{Vol_{NO.DOMICILIAR}}{Vol_{DOMICILIAR}} \cdot D$$

EF: Exceso por servicios fijos:

$$EF = 0.5 \cdot \frac{f}{t} \cdot (D + ND)$$

Donde la razón de servicios fijos (f/t) se calcula así:

$$\frac{f}{t} = \frac{Servicios_{FIJOS}}{Servicios_{TOTALES}} = 1 - \%medición$$

ANC: Agua no controlada:

$$ANC = (D + ND + EF) \cdot \left(\frac{1}{1 - \%ANC} - 1 \right)$$

Donde el porcentaje de agua no controlada (%ANC) es:

$$\%ANC = \frac{Vol_{PRODUCIDO} - Vol_{FACTURADO} + \left(CMS \cdot Servicios_{DOMICILIARES} \cdot \frac{f}{t} \right) \cdot 1.5}{Vol_{PRODUCIDO}}$$

2.4 ANÁLISIS DE OCURRENCIA DE CAUDALES MÍNIMOS

El análisis presentado en este estudio involucra dos partes principales:

2.4.1 Correlación de caudales

Implica la asociación de caudales simultáneos de los ríos analizados (Tabarcia y Negro) con los del río de referencia (Candelaria, estación El Rey). El objetivo es encontrar una relación simple entre el comportamiento histórico del caudal del río de referencia y el de los ríos analizados. El propósito final es inferir los valores mínimos de caudal en estos últimos a partir de los valores mínimos conocidos para el primero.

Debido a la marcada diferencia de magnitud entre los caudales de los ríos analizados y el río de referencia, la correlación se desarrolló con sus valores estandarizados (normalizados). Para normalizar una serie de datos, los puntos (Q RÍO REF **i** , Q RÍO ANALIZADO **i**) ó (**xi** , **yi**) se deben transformar mediante la siguiente función:

$$x_i^{normal} = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x}$$

$$y_i^{normal} = \frac{y_i - \bar{y}}{\sigma_y}$$

Donde el promedio y la desviación estándar, respectivamente, de cada serie se calculan así:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x}{n}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{n \cdot \sum_{i=1}^{n} x^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x\right)^2}{n \cdot (n-1)}}$$

Con **n**: número de puntos de la muestra o pares (**xi** , **yi**).

Las distribuciones estandarizadas de caudales permiten apreciar de mejor forma la dispersión de sus puntos. Así, se eliminaron los datos que, por su orden de magnitud, no corresponden al estiaje (época de caudales mínimos) en las series estandarizadas, para lograr un mejor ajuste de regresión. Además, se eliminaron los datos más dispersos.

2.4.1.1 Regresiones

Las correlaciones de los caudales normalizados de cada río analizado contra los del río de referencia se desarrollaron mediante el uso del programa de computadora, de dominio público, "CurveExpert 1.3: A comprehensive curve fitting system for Windows" desarrollado por Hyams, 2001.

Este programa usa el método Levenberg-Marquardt (LM) para resolución de regresiones no lineales. Él programa combina el método de Pendiente Máxima con un método basado en series de Taylor para lograr la optimización no lineal.

Ya que ninguno de estos dos métodos por separado es suficiente en todos los casos, el algoritmo combina ambos para el análisis de regresión. El método de pendiente máxima funciona mejor lejos del mínimo, al contrario que el de series de Taylor (Hyams, 2001). Así, el algoritmo de LM permite una transición suave entre estos dos métodos iterativos.

En general, la ecuación modeladora (con una variable independiente) se puede expresar así:

$$y = y(x, a)$$

Esta expresión indica que la variable dependiente **y** puede expresarse en función de la variable independiente **x** y el vector de parámetros **a** (de longitud arbitraria). Nótese que al usar el método ML, cualquier ecuación no lineal con un número arbitrario de parámetros puede usarse como ecuación modeladora. Entonces, la función a minimizar es:

$$\chi^2(a) = \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{y_i - y(x_i, a)}{\sigma_i} \right)^2$$

Donde **N** es el número de puntos conocidos, **xi** y **yi** son los valores de la variable independiente y dependiente, respectivamente, para cada uno de estos puntos, **σi** es la desviación estándar (incertidumbre) en el punto **i**, y **y(xi,a)** es un modelo no lineal arbitrario evaluado en el i-ésimo punto (Hyams, 2001). La función minimizada representa el ajuste entre los puntos conocidos y el modelo paramétrico. Cuanto menor sea el valor

de esta función, mejor será el ajuste. A esta función se le denomina comúnmente chi cuadrado.

El programa tiene varias ecuaciones modeladoras diferentes, sin embargo, sólo se usaron los dos más simples. Por recomendación técnica del Departamento de Hidrología del ICE, para el presente estudio se utilizaron sólo los modelos de regresión lineal y cuadrática.

2.4.2 Análisis de frecuencia de mínimos

Una vez correlacionados los caudales de los ríos de interés con los del río de referencia, se procedió a crear una serie de caudales mínimos anuales para cada río de estudio. El procedimiento consiste simplemente en evaluar los modelo de regresión, encontrados en el paso anterior, para cada caudal mínimo anual de la serie del río de referencia.

Los caudales de cada serie anual de mínimos se ordenaron ascendentemente para luego calcular su probabilidad anual de ocurrencia y su período de retorno.

Finalmente, con cada río se realizó un análisis de regresión con distribuciones de probabilidad. Para este propósito se usó el programa Colibrí, diseñado en el ICE y de aplicación para análisis hidrológico.

La base teórica de este análisis se resume a continuación.

2.4.2.1 Generalidades de la Estadística Hidrológica

El comportamiento de los eventos hidrológicos está gobernado por las leyes de azar. El caudal de un río varía día a día y año tras año, y no puede predecirse exactamente cual será su valor en un período de tiempo cualquiera (Chow, Maidment y Mays, 1988). Esto solo puede determinarse a través del análisis probabilístico y estadístico basado en los registros hidrológicos pasados.

En la hidrología, muchas variables son aleatorias. Esto significa que su comportamiento no puede predecirse con certidumbre. El comportamiento de una variable aleatoria está descrito por leyes que

asignan valores de probabilidad a los diferentes rangos de ocurrencia posibles para la variable.

Estas variables pueden ser discretas o continuas. Se dice que una variable aleatoria es discreta si sólo puede tomar valores específicos. En este caso, la ley de probabilidades asocia medidas de probabilidad a cada posible ocurrencia de la variable aleatoria.

Una variable aleatoria es continua si puede tomar todos los valores en un rango de ocurrencia. Por ejemplo, si Q es una variable aleatoria que denota el valor de los caudales mínimos anuales de un río, entonces Q puede asumir cualquier valor y es entonces una variable aleatoria continua. En este caso la ley de probabilidades asigna medidas de probabilidad a rangos de ocurrencia de la variable aleatoria.

La ocurrencia de caudales mínimos, como muchos fenómenos hidrológicos, es errática, compleja y de naturaleza aleatoria; y solo puede ser interpretada en un sentido probabilístico. Su determinación requiere de un procedimiento que en hidrología se conoce con el nombre de análisis de frecuencia. Éste consiste en la interpretación de registros de eventos pasados para inferir la ley de probabilidades que gobierna la variable hidrológica de interés (el caudal).

En hidrología se pueden utilizar diversos tipos de modelos de correlación. Sin embargo, todas tienen en común los siguientes conceptos (Heras, 1977):

a. Media o promedio: es el valor de la variable que divide a la ley de distribución en dos partes iguales.
b. Moda: el valor de mayor frecuencia o probabilidad.

c. Varianza: es la media de las observaciones absolutas de los valores de la variable.
d. Desviación estándar: es el error típico medido de la dispersión de una ley de distribución.
e. Período de retorno o tiempo de recurrencia: es el intervalo medio, expresado en años, en que el valor extremo (caudal mínimo anual) alcanza o subyace un valor esperado al menos 1 vez.

Un proceso hidrológico, como el comportamiento del caudal en un río, evoluciona en el tiempo y en el espacio, de tal forma que se puede decir que la observación de un año es independiente de la observación del año anterior y del año siguiente (Chow, Maidment y Mays, 1988). Las leyes de probabilidad que gobiernan los procesos aleatorios se describen a continuación.

2.4.2.2 Leyes de Probabilidad

Una variable aleatoria X, como el caudal mínimo de un río, se puede describir con una distribución de probabilidad. Dicha distribución determina la posibilidad de que una observación x de la variable caiga en un rango especificado de X.

Una muestra es un conjunto de observaciones x_1, x_2, x_3,...., x_n, de la variable aleatoria, mientras que el valor de cada elemento x_i de la muestra se le denomina ocurrencia. Se supone que éstas fueron tomadas de una población que posee propiedades estadísticas constantes. No así las muestras, cuyas propiedades pueden variar de una a otra. Al conjunto de todas las muestras se le llama espacio muestral, y un evento es un subconjunto del espacio muestral.

La probabilidad de un evento A, P(A); es la posibilidad de que éste ocurra cuando se hace una observación de la variable aleatoria. Esta probabilidades de eventos pueden estimarse. Si una muestra de n valores tiene n_A valores en el rango de evento A, entonces la frecuencia relativa del evento A es n_A/n. A medida que el tamaño de la muestra aumenta, la frecuencia relativa se convierte en un mejor estimador de la probabilidad del evento A representa (Chow, Maidment y Mays, 1988). Es decir:

$$P(A) = \lim_{n\to\infty} \frac{n_A}{n}$$

Las probabilidades de eventos obedecen ciertos principios:

1. La probabilidad total: si el espacio muestral, llámese Ω, está completamente dividido en *m* eventos o áreas no-traslapadas A_1, A_2, A_3,..., A_m, entonces:

$$P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + ... + P(A_m) = P(\Omega) = 1$$

2. Complementariedad: sea A' el *complemento* de A, es decir, A'= Ω – A, entonces:

$$P(A') = 1 - P(A)$$

3. Probabilidad condicional: sean A y B dos eventos. Donde A es "que el caudal mínimo de este año sea menor a 40 l/s". Mientras que B, es el evento de "que el caudal mínimo del próximo año sea menor a 40 l/s". La intersección (A∩B), indica que tanto el evento A como el B ocurran, es decir, dos años sucesivos con caudales mínimos menores a 40 l/s. Si P(B/A) es la probabilidad condicional de que ocurra B dado que ya ha ocurrido A, entonces la probabilidad

conjunta de que A y B ocurran, P(A∩B), es el producto de P(B/A) y la probabilidad de que A ocurra, es decir,

$$P(A \cap B) = P(B/A)P(A)$$

Si la ocurrencia de B no depende de A, se dice que los eventos son independientes y P(B/A)=P(B). Entonces, para eventos independientes queda:

$$P(A \cap B) = P(B)P(A)$$

Las probabilidades estimadas utilizando información de muestra, son sólo aproximaciones debido a que dependen de valores específicos de las observaciones en una muestra de tamaño limitado. Comúnmente se ajusta una función de distribución de probabilidad a la información y luego se determinan las probabilidades de los eventos utilizando dicha función ajustada.

2.4.2.3 Período de Retorno

Sea X una variable aleatoria, un evento extremo asociado a esta variable se produce cuando el valor de una observación X_i, es mayor o igual a cierto valor predeterminado X_T (o menor o igual en el caso de eventos extremos mínimos).

Al tiempo transcurrido entre dos eventos extremos consecutivos se le llama intervalo de recurrencia (T).

Así, el período de retorno de un evento $X_i \geq X_T$, (o $X_i \leq X_T$ en caso de eventos extremos mínimos) es el tiempo promedio, o recurrencia promedio, entre observaciones donde se cumple que la condición.

En este sentido, sea X_1, X_2, X_3,..., X_N, una muestra de N años de observaciones (ocurrencias), por ejemplo de caudales mínimos anuales. Establecemos el evento "caudal mínimo anual menor o igual que X_T" y suponemos que este evento se produce en M ocasiones. Entonces, los años de ocurrencia del evento M, definen M-1 intervalos entre eventos.

Así, el intervalo de ocurrencia promedio o período de retorno T del evento definido estará determinado por:

$$\tau = \frac{N°añosserie}{N°\text{int}ervalos} = \frac{N}{M-1}$$

2.4.2.4 Probabilidad de Ocurrencia del Evento

En una muestra compuesta por valores de X_i (caudales mínimos anuales), con i=1, 2, ..., N, existen dos posibilidades para cada una de sus observaciones:

1. $X_i \leq X_T$, se le asigna una probabilidad P
2. $X_i > X_T$, se le asigna una probabilidad (1-P)

Como son eventos independientes, la probabilidad de que el evento positivo ($X_i \leq X_T$) se produzca M veces consecutivas viene dada por P^M. De manera análoga, la posibilidad de que no se produzca viene dada por $(1-P)^M$.

La expresión del período de retorno en función de la probabilidad P de excedencia (o subyacencia en caso de eventos extremos mínimos) de una observación X_i viene dada por:

$$\tau = P[1-(1-P)]^{-2} = \frac{1}{P}$$

La forma inversa de esta expresión determina la probabilidad de que una observación exceda (o subyazga en caso de eventos mínimos) el valor X_T :

$$P(X_i \leq X_T) = 1/\tau$$

donde, τ = período de retorno

Así, la probabilidad anual de ocurrencia de un determinado evento extremo es el inverso de su período de retorno en años.

Con la información de cada río analizado (Negro y Tabarcia) se aplicaron estas leyes. De esta forma, a cada caudal de las series de mínimos anuales se le asignó una probabilidad anual de ocurrencia. Como se explicó antes, esta probabilidad es el recíproco del período de retorno en años.

Para poder predecir el comportamiento de los caudales mínimos, a estas series se les buscó una distribución de probabilidad que las representara satisfactoriamente.

La tarea de asignación de probabilidades y de ajuste con modelos de distribución de probabilidades se realizó con ayuda del programa Colibrí. El programa fue desarrollado para el Departamento de Hidrología del ICE, y se utiliza comúnmente para el análisis de crecidas en ríos (eventos extremos máximos).

A continuación se detallan las distribuciones de probabilidad más utilizadas en la hidrología. Sin embargo, la herramienta Colibrí utiliza algunos otros modelos específicamente desarrollados para ajustar información de eventos extremos, además de algunas aplicaciones de la probabilidad con momentos lineales.

2.4.2.5 Distribuciones de Probabilidad

Se supone que el comportamiento de los ocurrencias sigue la forma de alguna función matemática modeladora. Se busca, por lo tanto, ajustar a la serie de los caudales mínimos anuales, una función que la represente. Existen numerosas leyes de distribución que se ajustan, más o menos aceptablemente, a variables hidrológicas.

El criterio determinante para la selección de la distribución modelo es la bondad de ajuste. Ésta es la asimilación de datos observados de una variable, a la función matemática previamente establecida como modeladora. A través de ella es posible interpolar y extrapolar información, es decir, predecir el comportamiento de la variable en estudio (en este caso el caudal).

Para la estimación de la bondad de ajuste, existen variadas pruebas, las cuales poseen distinto grado de efectividad. Se utiliza normalmente la ley de Goodrich para valores medios. También son usuales el test de Kolmogorov-Smirnov, las leyes de Gibrat, Pearson, Gauss, Galton, etc (Chow, Maidment y Mays, 1988).

Otro parámetro típico para evaluar la bondad de ajuste es el coeficiente de determinación, el cual se encuentra definido por la siguiente expresión:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (F_n(x))_i - F(x)_i)^2}{\sum (F_n(x)_i - \overline{F_n(x)_i})^2}$$

donde:

R^2 : Coeficiente de determinación $0 \leq R^2 \leq 1$

$\overline{F_n(x)_i}$: Media de las frecuencias observadas acumuladas.

El coeficiente de determinación señala qué proporción de la variación total de las frecuencias observadas, es explicada por las frecuencias teóricas acumuladas.

Dentro de los modelos de ajuste para procesos aleatorios, existen distribuciones exclusivas para variables discretas y para variables continuas. El caudal de un río, al igual que la mayoría de las variables hidrológicas, es continua.

Las distribuciones de probabilidad para variables aleatorias continuas más importantes se describen a continuación.

a. Distribución Normal

Esta distribución se ajusta a variables hidrológicas, calculadas como la suma de los efectos de muchos eventos independientes, como la precipitación anual. La Distribución Normal surge del teorema del límite central, el cual establece que si una secuencia de variables aleatorias X_i son independientes y están idénticamente distribuidas con media μ y varianza σ^2, entonces la distribución de la suma de n de estas variables aleatorias, $Y = \sum_{i=1}^{n} X_i$, tiende a la distribución normal con media $n\mu$ y varianza $n\sigma^2$ a medida que n aumenta. Su forma sigue la función:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right); \quad -\infty \le x \le \infty$$

Las limitaciones de esta distribución radican en su rango de variación [$-\infty$, ∞] (la mayor parte de las variables hidrológicas son no

negativas), y en su simetría en torno a la media (la información hidrológica tiende a ser asimétrica).

b. Distribución Lognormal

Esta distribución se aplica a variables hidrológicas formadas como productos de otras variables, debido a que si $X=X_1X_2X_3...X_n$, entonces $Y=\log X = \sum_{i=1}^{n}\log X_i = \sum_{i=1}^{n} Y_i$, la cual tiende a la distribución normal para valores grandes de n siempre y cuando los X_i sean independientes y estén idénticamente distribuidos (Chow, Maidment y Mays, 1988). Esta función tiene la ventaja sobre la distribución normal de que está limitada (x>0) y de que la transformación logarítmica tiende a disminuir la asimetría positiva, muy común en información hidrológica. Esta distribución tiene la forma:

$$f(x)=\frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right);\ x>0$$

No obstante, sus limitaciones son: que tiene solamente dos parámetros y, que requiere que los logaritmos de los datos sean simétricos alrededor de su media.

c. Distribución Exponencial

Se utiliza para describir los tiempos entre eventos o de interarribo a sistemas hidrológicos, tales como volúmenes de escorrentía contaminada que entran en los ríos a medida que la lluvia lava los contaminantes localizados en la superficie de un sitio determinado.

Esta distribución se basa en que algunas secuencias de eventos hidrológicos, como la ocurrencia de precipitación, pueden considerarse como procesos de Poisson, en los cuales los eventos ocurren instantáneamente e independientemente en un horizonte de tiempo, a lo largo de una línea. El tiempo entre tales eventos, o tiempo de interarribo, está descrito por una distribución exponencial cuyo parámetro λ es la tasa media de ocurrencia de los eventos.

d. Distribución Gamma

La distribución Gamma describe el tiempo que toma la ocurrencia de un número β de eventos en un proceso de Poisson, la cual es la distribución de una suma de β variables aleatorias independientes e idénticas, distribuidas exponencialmente.

Este tipo de distribución es muy útil para la descripción de variables hidrológicas asimétricas sin el uso de la transformación logarítmica.

e. Distribución Pearson Tipo III

También llamada la distribución gamma de tres parámetros, que introduce un tercer parámetro el limite inferior ε, de tal manera que los tres momentos de la muestra (la media, la desviación estándar y el coeficiente de asimetría), puedan transformarse en los tres parámetros λ, β y ε de la distribución de probabilidad. Esta distribución se aplicó por primera vez en hidrología para describir la distribución de probabilidad de picos de crecidas máximas anuales.

2.5 REDES DE DISTRIBUCIÓN

Para el análisis hidráulico de la red de Santiago, se utilizó el programa de computadora WaterCAD de Haestad. Esta herramienta facilita y acelera el cálculo de presiones y caudales en una red de conducciones a tubo lleno.

La base teórica del algoritmo se basa en la expresión empírica de Hazen-Williams para la estimación de pérdidas de presión en tuberías cerradas. Asimismo, el programa realiza el balance hidráulico de la red de forma iterativa, mediante un el método de Hardy-Cross.

2.5.1 Expresión de Hazen-Williams

Esta fórmula es el resultado de un masivo análisis estadístico de datos experimentales. Según López (1999), el modelo no explica la naturaleza física del flujo a presión de un líquido por una tubería cerrada. Sin embargo, representa satisfactoriamente el comportamiento de las variables involucradas en el flujo de agua por tuberías de cualquier material con diámetros dentro del rango [0.05 m , 3.50 m].

La ecuación de Hazen-Williams se puede expresar así:

$$Q = 278.5 \cdot C \cdot D^{2.63} \cdot \left(\frac{hf}{L} \right)^{0.54}$$

Donde: Q = caudal en [l/s]

C = coeficiente de rugosidad de Hazen-Williamas

D = diámetro del tubo en [m]
hf = pérdida de carga en [m]
L = longitud del tubo en [m]

Los parámetros constantes de la ecuación cambian si se expresa en otras unidades, p. ej. sistema inglés.

El coeficiente de rugosidad es un valor característico del material con el que se fabricó el tubo. Los materiales más lisos tienen coeficientes C altos. Este valor varía además con el tiempo.

Los sales y iones contenidos en el agua se incrustan en las paredes del tubo y forman depósitos gradualmente. Además, la corrosión puede degradar la superficie interna del tubo (López, 1999). Estas transformaciones en el tubo van disminuyendo su coeficiente de rugosidad con el tiempo.

2.5.2 Método de Hardy-Cross

Este método de prueba y error utiliza la expresión de Hazen-Williams para estimar las pérdidas de presión en las tuberías de una red. Se supone que la configuración de la red está dada y no se modificará (materiales, diámetros y longitudes de la tubería son constantes).

El algoritmo requiere la introducción de caudales iniciales, y balancea iterativamente la red hasta minimizar las diferencias de presión en cada anillo.

Basándose en la expresión de Hazen-Williams (López, 1999):

$$Q = 278.5 \cdot C \cdot D^{2.63} \cdot \left(\frac{hf}{L} \right)^{0.54}$$

Despejando:

$$hf = \left(\frac{Q}{278.5 \cdot C \cdot D^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

Agrupando los valores constantes:

$$hf = r \cdot Q^n$$

Donde:

$$r = \left(\frac{1}{278.5 \cdot C \cdot D^{2.63}} \right)^n \cdot L$$

$$n = \frac{1}{0.54} = 1.85$$

Para balancear la red, se busca lograr que recorriendo la trayectoria alrededor de cada anillo, la sumatoria de pérdidas de presión sea nula:

$$\sum hf = 0$$

Pero dados los caudales supuestos inicialmente:

$$\sum hf \neq 0$$
$$\sum \left(r \cdot Q^n \right) \neq 0$$

Por lo que es necesario aplicar una corrección, tal que:

$$\sum \left[r \cdot (Q + \Delta Q)^n \right] = 0$$

Desarrollando el binomio anterior según Newton y despejando:

$$\Delta Q = \frac{-\sum hf}{n \cdot \sum \left(\frac{hf}{Q} \right)}$$

Esta corrección se aplica iterativamente hasta que la sumatoria de pérdidas sea satisfactoriamente baja (típicamente 1m según la norma, sin embargo el programa WaterCAD itera hasta tolerancias menores).

CAPÍTULO 3:

ANÁLISIS, PROYECCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE DISEÑO

3.1 GENERALIDADES

Para este capítulo, se tomaron principalmente los datos de los 5 censos del INEC. A partir de esta información, se realizaron extrapolaciones para estimar la población en años futuros.

La proyecciones de población son importantes para optimizar un sistema de abastecimiento de agua, pues debe conocerse la demanda y su distribución espacial, durante toda la vida útil del proyecto.

Para la proyección de población se usaron los métodos de tendencias lineal y geométrica (regresión por mínimos cuadrados), además de las estimaciones logarítmica y logística. Analizando gráficamente estos resultados, se pueden escoger los patrones de crecimiento más representativos.

3.2 POBLACIÓN PASADA Y PRESENTE

En términos generales, la población del cantón Puriscal ha sufrido un estancamiento durante los últimos 30 años. En la tabla 3.1 se detallan los resultados censales históricos del cantón.

La problemática situación geotécnica en el sector y la deforestación han mermado su productividad. Esto ha causado la emigración de una considerable parte de la población en busca de zonas con mayor atractivo económico.

La emigración se ha dado principalmente desde las áreas rurales del cantón. Mercedes Sur, Grifo Alto, y Desamparaditos son los distritos más afectados. Sin embargo, su cercanía con San José ha permitido que muchos de los pobladores urbanos, especialmente de Santiago de Puriscal permanezcan allí y trabajen en la capital.

Tabla 3.1. Población censal para el cantón Puriscal

Distrito	AÑO				
	1950	1963	1973	1984	2000
1. Santiago	4 173	5 633	7 223	7 882	11 026
2. Mercedes Sur	5 041	9 324	8 643	3 516	5 092
3. Barbacoas	1 836	2 398	2 326	2 446	3 231
4. Grifo Alto	1 416	1 323	1 249	1 043	1 096
5. San Rafael	1 620	2 104	2 075	2 814	1 499
6. Candelaria	1 012	1 357	1 198	1 322	1 414
7. Desamparaditos	554	616	483	462	568
8. San Antonio	731	935	943	1 888	2 780
9. Chires	-	-	-	3 112	2 802
TOTAL CANTÓN	16 383	23 690	24 140	24 485	29 508

Fuente: INEC, Censos

3.3 PROYECCIONES DEMOGRÁFICAS

Dada la complejidad del área de cobertura de este acueducto, para el análisis poblacional fue necesario utilizar información adicional a los datos censales.

La red de distribución y las conducciones secundarias cubren parcialmente 5 de los 9 distritos del cantón (Santiago, Mercedes Sur, Barbacoas, San Rafael y Candelarita). Adicionalmente al casco urbano, en la tabla 3.2 se desglosan las comunidades cubiertas por el acueducto.

Tabla 3.2. Cobertura del Acueducto de Santiago.

Poblado	Distrito	Cobertura	Tipo de derivación
Bajo La Legua	2. Mercedes Sur	100%	bombeo Cañales - tanque
Barbacoas	3. Barbacoas	25%	
Cañales Ab.	1. Santiago	100%	
Cañales Ar.	1. Santiago	100%	
Candelarita	6. Candelarita	100%	
Cerbatana	1. Santiago	100%	bombeo T. Junquillo - tanque
Charcón	1. Santiago	100%	
Cirrí	1. Santiago	100%	
Estero	5. San Rafael	50%	
Guatuso	3. Barbacoas	50%	
Piedades	3. Barbacoas	100%	bombeo Bajo Burgos
Polca	6. Candelarita	100%	
Pozos	1. Santiago	100%	
San Antonio	8. San Antonio	50%	
San Juan	3. Barbacoas	30%	
San Rafael Ar.	5. San Rafael	15%	

Fuente: AyA Puriscal, Norman Artavia Chavarría.

Asimismo, de la planta de Quitirrisí (Cantón Mora) se derivan un total de 17 l/s para el Barrio San Bosco de Ciudad Colón y los pueblos de Corrogres, La Fila, y Morado. Éstos se ubican en el vecino cantón de Mora.

Debido a que la menor división política considerada en los censos del INEC es el distrito, se tuvo que estimar la población de estas comunidades en forma indirecta.

Se hizo uso de la base de datos de fincas del Registro Nacional. Básicamente, se supuso que la distribución espacial de las fincas registradas corresponde, proporcionalmente a la distribución espacial de la población.

La figura 3.1 muestra la densidad de fincas contabilizadas en el Registro Nacional. Los datos del Registro presentan coordenadas Lambert con 1 decimal. De esta forma, la densidad indicada en la leyenda está dada en fincas por hectárea (10 000 m^2).

Comparando esta distribución de fincas con los pueblos indicados en las hojas cartográficas 1 : 50 000 del IGN (Río Grande, Candelaria, Abra y Caraigres), se pudo corroborar que las mayores concentraciones de fincas coinciden con los focos de población.

Se procedió entonces a ubicar y delimitar las comunidades de interés en el mapa de fincas (figura 3.1). Los pueblos de interés se delimitaron con rectángulos, como se indica en esta misma figura.

La tabla 3.3 muestra la delimitación de cada comunidad y la cantidad de fincas registradas dentro de su área. Estas cantidades de fincas ya consideran el porcentaje de cobertura del AyA indicado en la tabla 3.2.

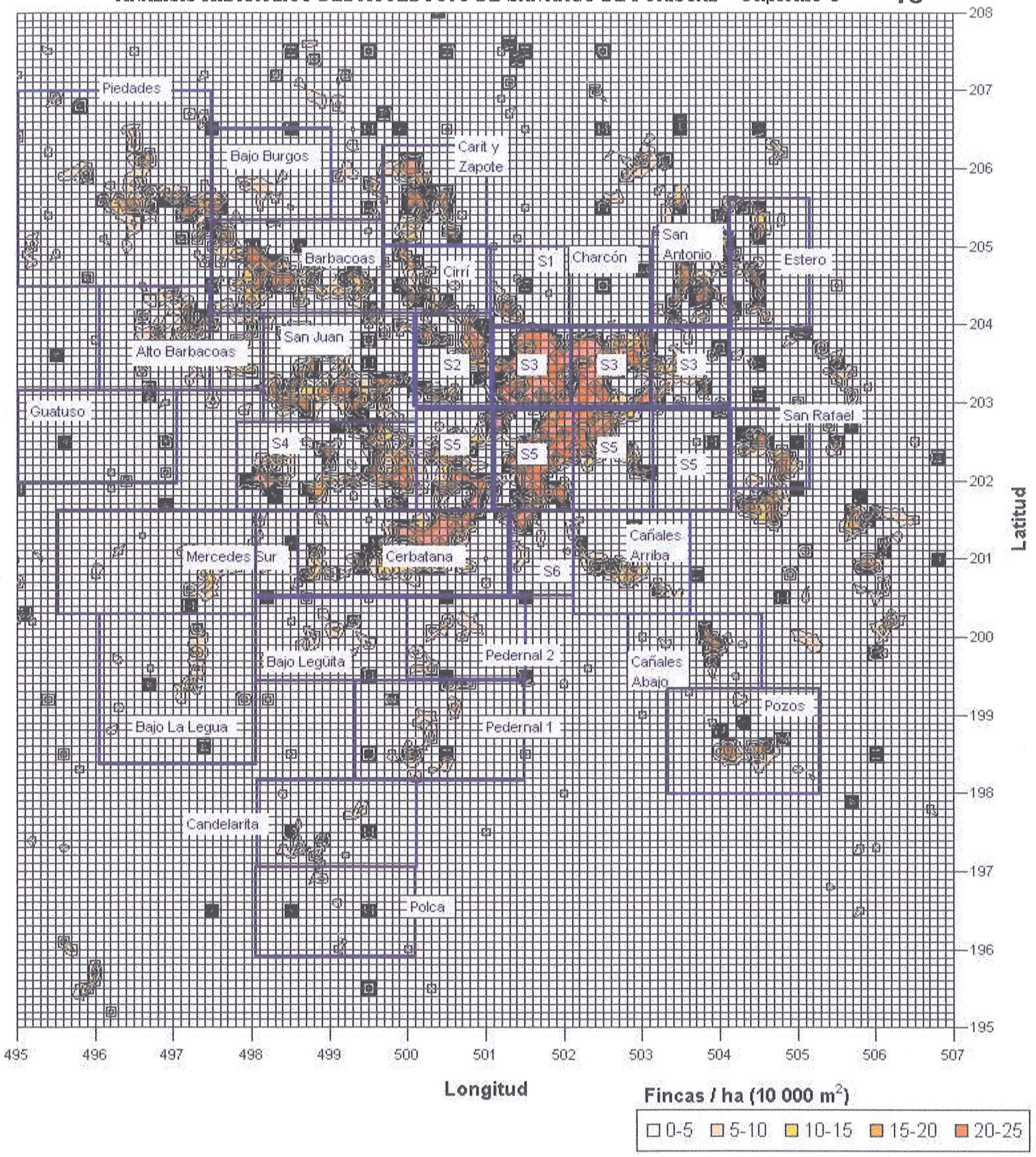


Fig. 3.1. Densidad de fincas registradas en el área de cobertura del Acueducto de Santiago.

Tabla 3.3. Pueblos cubiertos por el Acueducto de Santiago.

Pueblo	LÍMITES				Fincas
	Oeste	Este	Sur	Norte	
Bajo Legua	496.0	498.0	198.5	200.3	356
Barbacoas	497.4	499.6	204.2	205.4	1 708
	496.0	497.4	203.2	204.5	762
	497.4	498.1	203.2	204.2	324
Cañales Ab.	502.7	504.4	199.4	200.3	339
Cañales Ar.	502.0	503.5	200.3	201.7	629
Candelarita	498.0	500.0	197.0	198.2	446
Cerbatana	498.5	501.2	200.6	201.7	2 681
Charcón	502.0	503.0	204.0	205.0	97
Cirrí	499.6	501.0	204.2	205.0	515
Estero	504.0	505.0	204.0	205.6	2 018
Guatuso	495.0	497.0	202.0	203.2	151
Piedades	495.0	497.4	204.5	206.7	1 482
Polca	498.0	500.0	195.5	197.0	202
Pozos	503.3	505.3	198.0	199.4	565
San Antonio	503.0	504.0	204.0	205.2	1 096
San Juan	498.1	500.0	202.8	204.2	1 375
San Rafael	504.0	505.0	202.0	203.0	708
Santiago 1	501.0	502.0	204.0	205.0	657
Santiago 2	500.0	501.0	203.0	204.2	2 566
Santiago 3	501.0	504.0	203.0	204.0	6 414
Santiago 4	497.8	502.0	201.7	202.8	6 727
Santiago 5	502.0	504.0	201.7	203.0	1 764
Santiago 6	501.2	502.0	200.8	201.7	1 018
TOTAL					**34 600**

Fuente: Registro Nacional y el autor.

La correspondencia entre la distribución espacial de fincas y la distribución espacial de habitantes se corroboró estimando la cantidad de fincas cubiertas por acueductos del AyA en Puriscal. Ésta puede compararse con la cobertura medida por el INEC. La tabla 3.4 resume estas coberturas. Nótese que los valores son muy similares (la diferencia es menor al 1%).

Tabla 3.4. Cobertura del AyA en el cantón Puriscal.

	AyA	No AyA	Cantón
Fincas			
Acueducto Santiago	28 567	-	57 461
Otros acueductos	4 874	23 300	
%	**58.9**	41.1	100.0
Casas			
Casas	4 405	2 994	7 399
%	**59.5**	40.5	100.0

Fuente: Registro Nacional, INEC (Censo 2000) y el autor.

De esta forma, se comprueba que la cantidad de fincas registradas en un área es proporcional a la cantidad de habitantes. Así, los datos del Registro Nacional permiten conocer indirectamente la población de cada pueblo cubierto por el acueducto.

Con la población total del cantón proyectada para este año, y la cantidad de fincas registradas actualmente, se puede obtener un parámetro de proporcionalidad (ver tabla 3.5).

Tabla 3.5. Relación fincas – población.

Población Puriscal 2003	31 130
Total fincas registradas Puriscal 2003	57 461
Proporción (hab./finca)	**0.55**

Fuente: el autor.

Utilizando este factor de proporcionalidad (tabla 3.5), se calcularon las poblaciones de las comunidades de interés a partir de la cantidad de fincas que contienen. La tabla 3.6 muestra las cantidades de habitantes para cada uno de los pueblos cubiertos por el Acueducto de Santiago.

Tabla 3.6. Poblaciones actuales estimadas (2003).

Pueblo	HABITANTES		
	Total	Cubiertos	
Bajo Legua	195	100%	195
Barbacoas	1 533	25%	383
Cañales Ab.	186	100%	186
Cañales Ar.	345	100%	345
Candelarita	245	100%	245
Cerbatana	1 471	100%	1 471
Charcón	53	100%	53
Cirrí	283	100%	283
Estero	1 107	50%	554
Guatuso	83	50%	41
Piedades	813	50%	407
Polca	111	100%	111
Pozos	310	100%	310
San Antonio	601	50%	301
San Juan	754	30%	226
San Rafael	388	15%	58
Santiago 1	360	100%	360
Santiago 2	1 408	100%	1 408
Santiago 3	3 519	100%	3 519
Santiago 4	3 691	100%	3 691
Santiago 5	968	100%	968
Santiago 6	559	100%	559
TOTAL			**15 673**

Fuente: el autor.

Conociendo los valores presentes de población, se pueden proyectar para los siguientes 25 años. Ya que los registros históricos de población están desglosados por distrito, la proyección para los pueblos cubiertos por el acueducto debió hacerse indirectamente.

Se supuso que cada asentamiento sigue, a escala, el comportamiento del distrito al que pertenece. Para este propósito, se utilizaron los resultados de los últimos 5 censos (ver tabla 3.1). Las proyecciones de población se presentan en la tabla 3.7. Los métodos utilizados para se detallan en el capítulo de Marco Teórico.

Tabla 3.7. Proyecciones de población según método y distrito.

	AÑO	DISTRITO								
		1 San.	2 M.S.	3 Bar.	4 G.A.	5 S.R.	6 Can.	7 Des.	8 S.A.	9 Chi.
Aritmético	2005	11 313	4 964	3 198	997	2 086	1 462	512	2 767	2 705
	2010	11 978	4 744	3 319	960	2 096	1 494	508	2 979	2 608
	2015	12 644	4 525	3 440	923	2 106	1 527	504	3 191	2 511
	2020	13 309	4 306	3 561	886	2 116	1 559	500	3 402	2 414
	2025	13 974	4 087	3 683	850	2 127	1 592	496	3 614	2 318
	2030	14 640	3 867	3 804	813	2 137	1 624	492	3 826	2 221
Geométrico	2005	12 785	4 733	3 274	1 011	1 489	1 480	509	3 231	2 712
	2010	14 100	4 565	3 456	981	1 421	1 521	506	3 712	2 624
	2015	15 550	4 403	3 648	952	1 356	1 563	502	4 265	2 539
	2020	17 149	4 247	3 851	924	1 294	1 606	498	4 900	2 458
	2025	18 912	4 096	4 066	896	1 235	1 650	495	5 629	2 378
	2030	20 856	3 951	4 292	870	1 178	1 695	491	6 468	2 302
Logarítmico	2005	12 006	3 888	3 159	1 014	1 785	1 393	501	3 187	2 170
	2010	13 217	3 797	3 319	984	1 801	1 435	497	3 643	2 100
	2015	14 550	3 708	3 486	955	1 817	1 477	492	4 165	2 032
	2020	16 017	3 622	3 663	926	1 833	1 520	488	4 761	1 966
	2025	17 632	3 537	3 848	898	1 849	1 565	483	5 443	1 903
	2030	19 410	3 454	4 042	871	1 865	1 611	479	6 223	1 842
Logístico	2005	11 170	-	3 279	1 091	-	1 423	-	3 115	-
	2010	11 886	-	3 547	1 064	-	1 466	-	9 181	-
	2015	12 587	-	3 865	1 038	-	1 511	-	-7 240	-
	2020	13 268	-	4 249	1 012	-	1 557	-	-2 348	-
	2025	13 924	-	4 723	987	-	1 605	-	-1 314	-
	2030	14 550	-	5 322	962	-	1 653	-	-868	-

Fuente: el autor.

Nótese que para el método logístico, en los distritos 2, 5, 7, 8 y 9 (Mercedes Sur, San Rafael, Desamparaditos, San Antonio y Chires), las poblaciones proyectadas se indefinen. Esto obedece a la contraposición de una historia censal con tendencia decreciente o muy dispersa, y la naturaleza estrictamente creciente del paradigma logístico.

3.4 SELECCIÓN DE PROYECCIÓN PROBABLE

Los resultados de las proyecciones de población se pueden analizar más fácilmente si se expresan de forma gráfica. De esta manera, se puede elegir a simple vista el modelo de proyección que mejor interprete la tendencia de crecimiento de cada población.

Las siguientes figuras muestran los resultados para cada distrito. En algunos casos, el crecimiento se ajustó mejor al promedio de dos o más métodos; en otros casos, debido a lo accidentado de los registros históricos, ninguno de los métodos pudo interpretar la tendencia correctamente; por lo que se hizo necesario corregir o eliminar algunos datos.

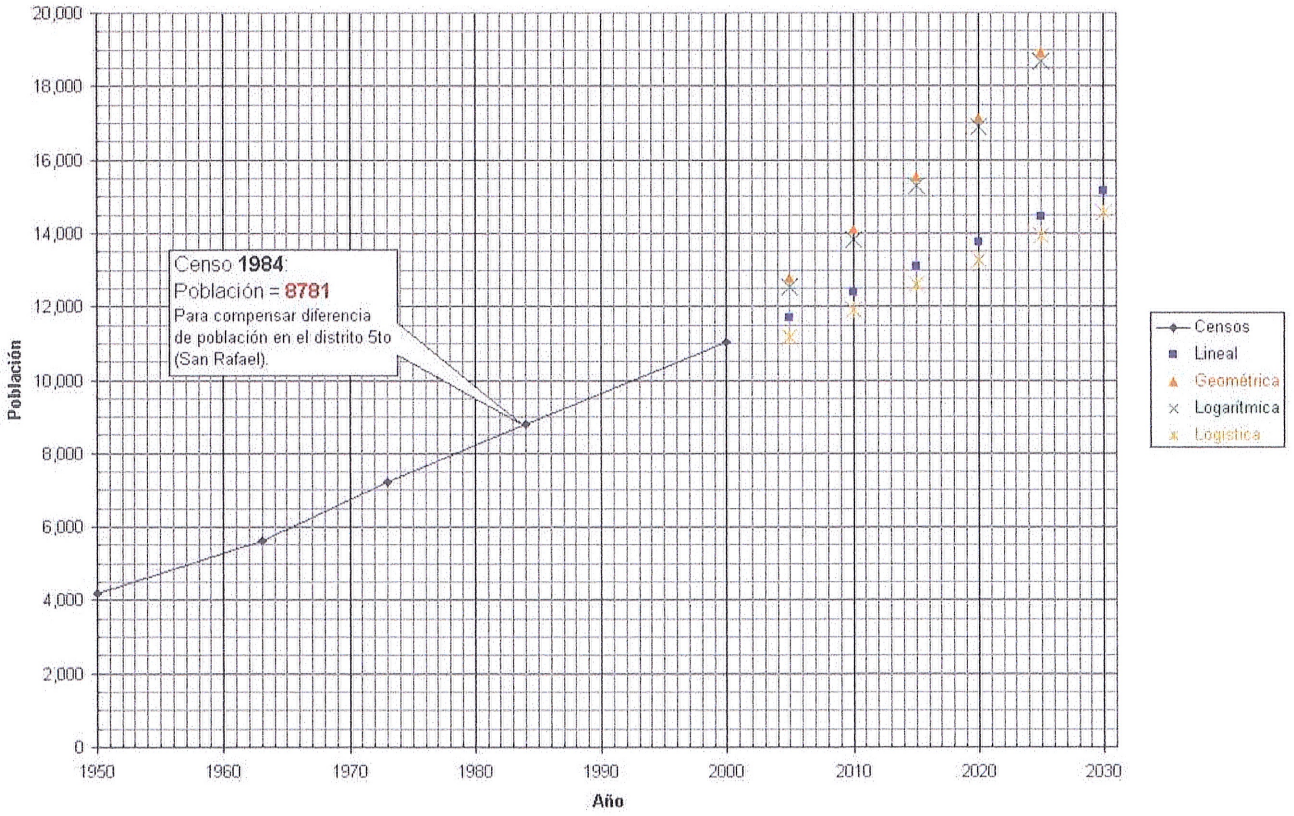


Fig. 3.2. Proyecciones poblacionales Distrito 1. Santiago.

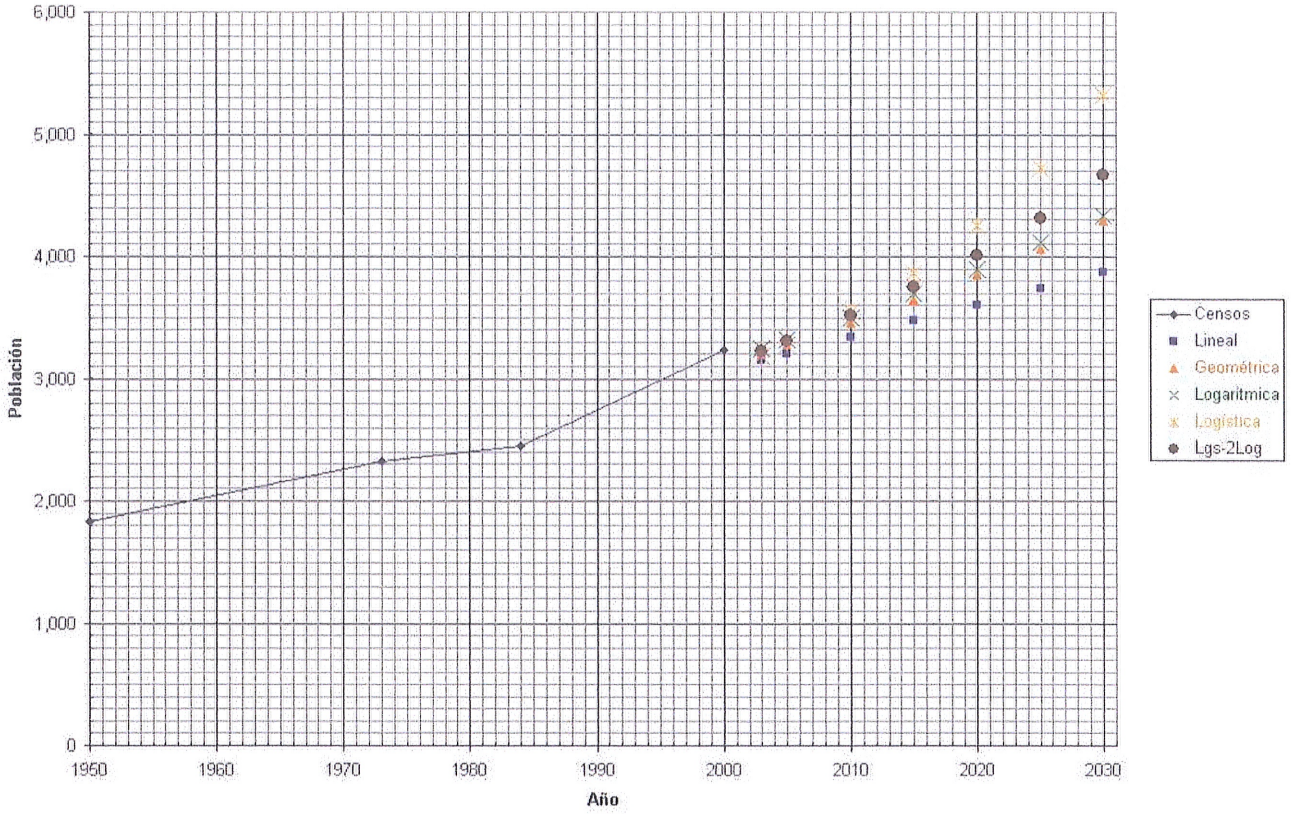


Figura 3.3. Proyecciones poblacionales Distrito 3. Barbacoas

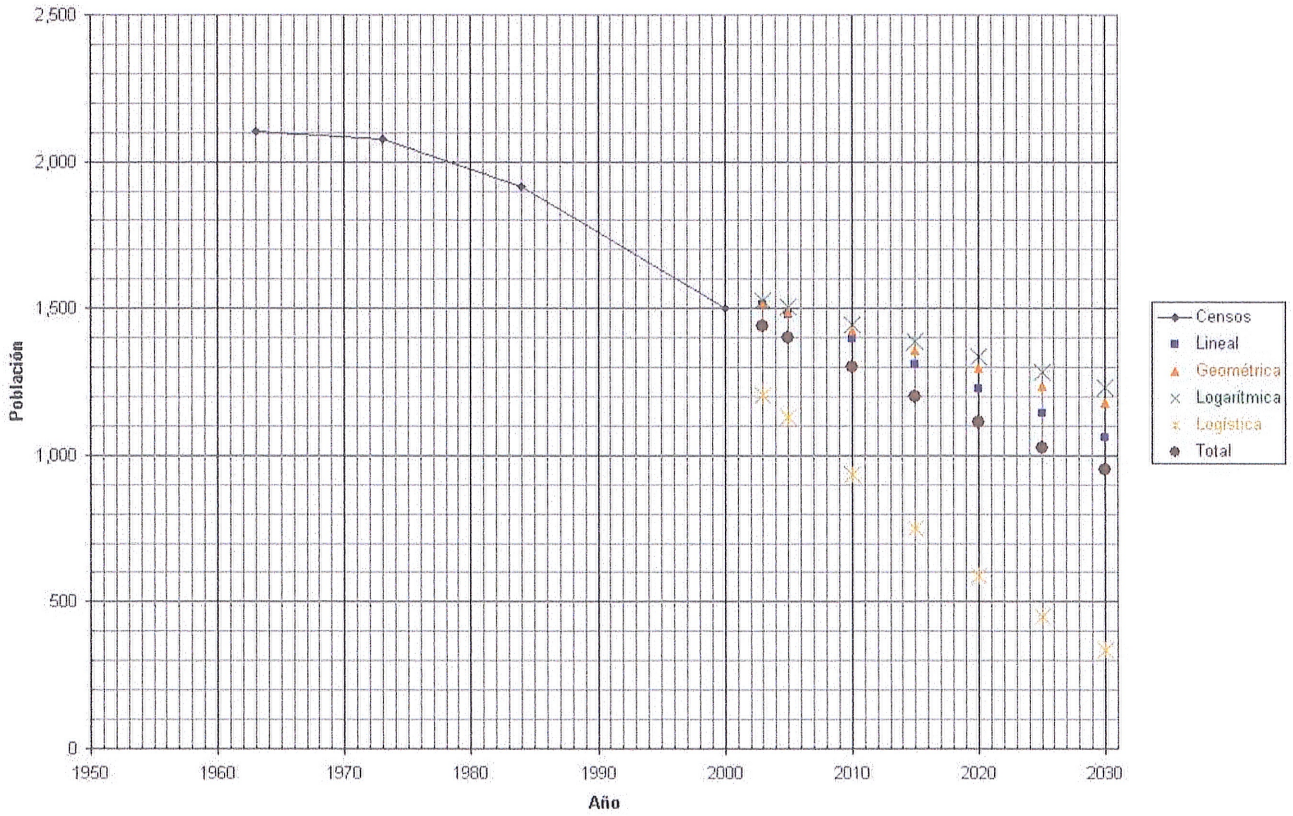


Fig. 3.4. Proyecciones poblacionales Distrito 5. San Rafael.

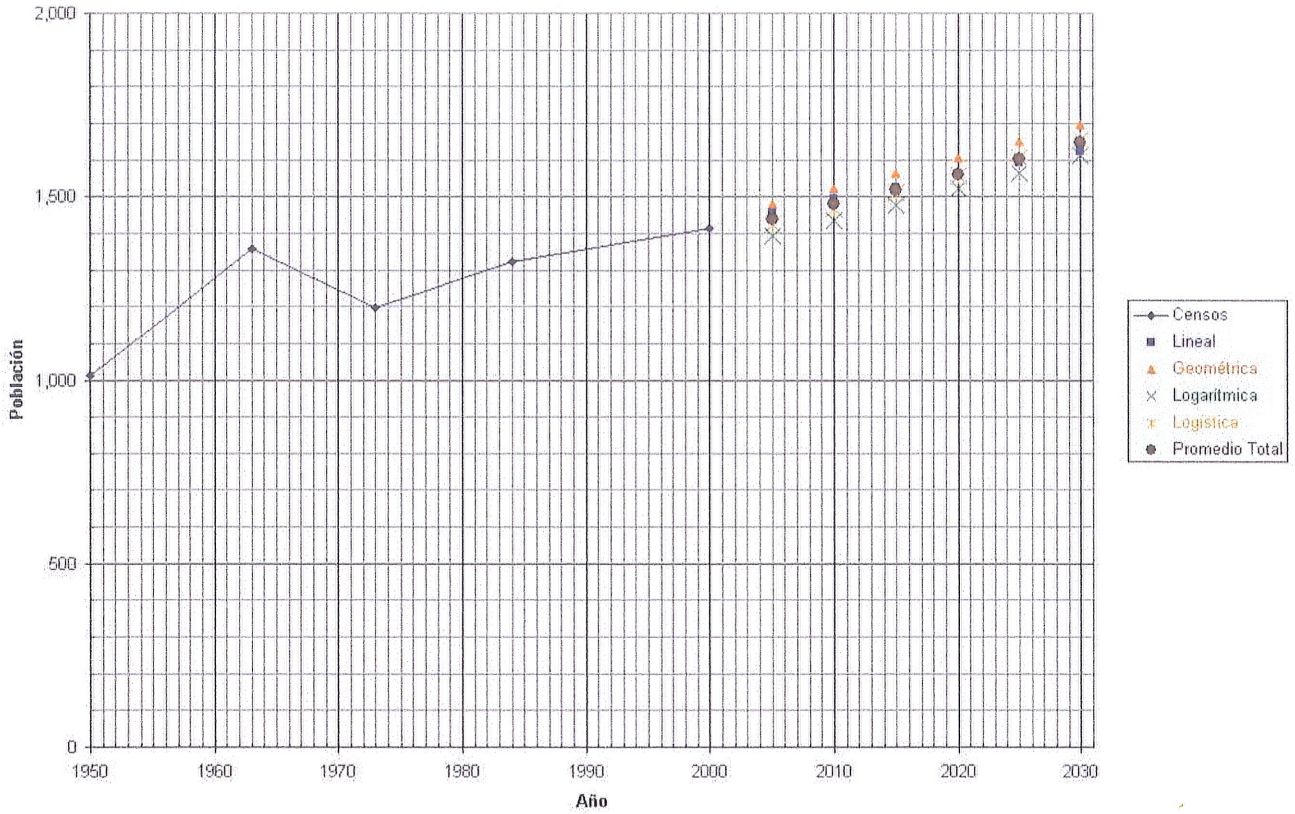


Fig. 3.5. Proyecciones poblacionales Distrito 6. Candelarita.

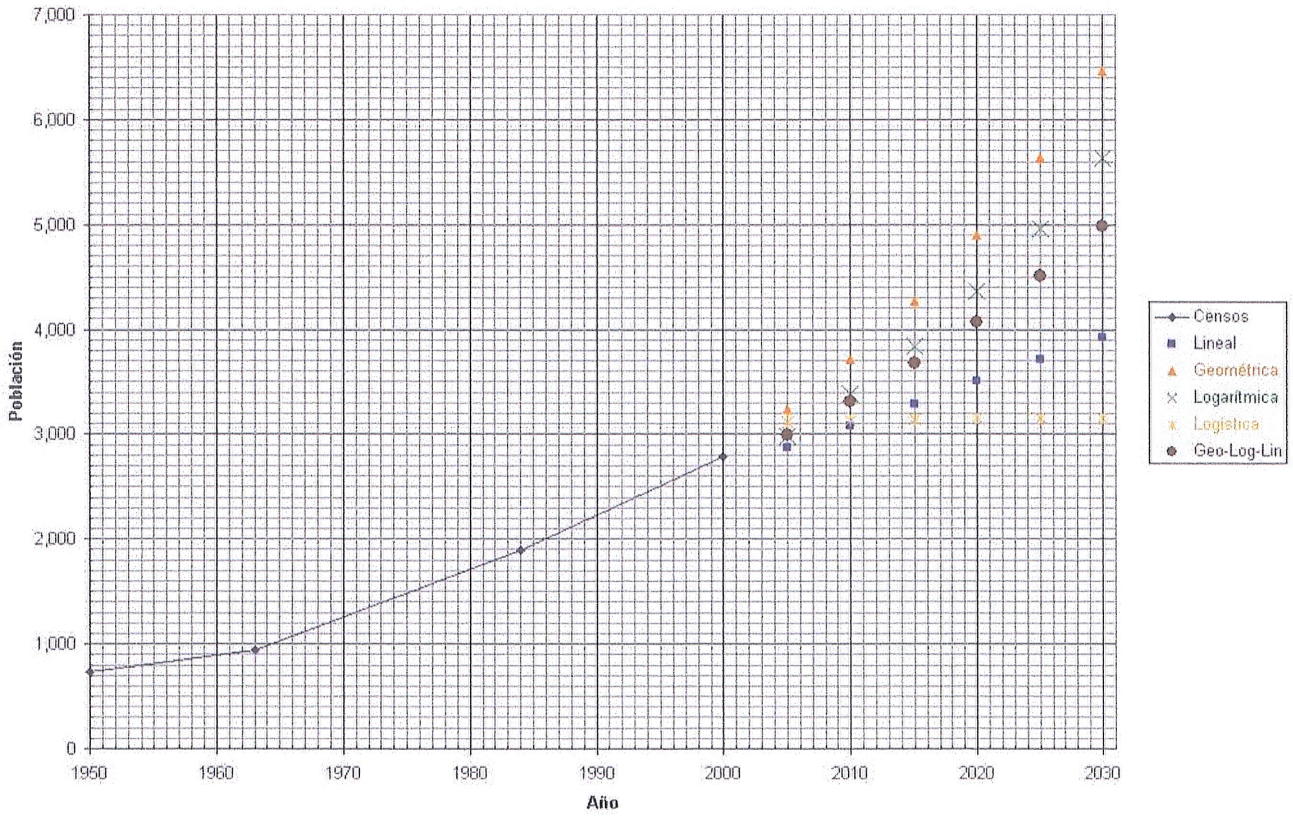


Fig. 3.6. Proyecciones poblacionales Distrito 8. San Antonio.

Las figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 muestran únicamente las proyecciones de los distritos que interesan para el acueducto. Los datos originales (sin correcciones u omisiones) se presentan en los anexos 1, 2, 3, 4 y 5.

Las correcciones aplicadas fueron:

- San Rafael: se supuso que el pico del censo de 1984 se debe a un cambio de límites políticos con el vecino distrito de Santiago. Se corrigieron los datos de estos distritos según la tendencia indicada en el anexo 4.
- San Rafael: se eliminó el dato del censo de 1950 para que la tendencia decreciente de este distrito se apreciara más claramente.
- Barbacoas: se eliminó el pico creado por el censo de 1963, para mantener la naturaleza creciente de la mayoría de datos (anexo 3).
- San Antonio: se eliminó el dato del censo de 1973 para que la tendencia natural se pudiera apreciar más fácilmente (anexo 5).
- Mercedes Sur: el comportamiento de los datos es demasiado caótico como para ser susceptible de corrección (anexo 2). El único pueblo de este distrito que interesa para el acueducto es Bajo La Legua (ver tabla 3.2), que por su cercanía, se supuso parte del distrito Candelarita para efectos de proyección poblacional.

De esta forma, una vez corregidos los datos base, los modelos representativos de cada distrito se presentan en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Proyecciones representativas después de las correcciones

Distrito	Figura	Método
1. Santiago	3.2	Lineal
2. Mercedes Sur	-	*ver Candelarita*
3. Barbacoas	3.3	Logístico-2Logarítmico
5. San Rafael	3.4	Promedio Total
6. Candelarita	3.5	Promedio Total
8. San Antonio	3.6	Geométrico-Logarítmico-2Lineal

Fuente: el autor.

3.5 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Luego de estimadas las poblaciones futuras de cada distrito, se pueden aplicar los resultados de forma proporcional a cada pueblo cubierto por el acueducto, según el distrito al que pertenezca (ver tabla 3.9).

Tabla 3.9. Proyecciones de población para la zona de cobertura

Pueblo	Distrito	HABITANTES						
		2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Bajo Legua	2	195	197	203	208	214	220	226
Barbacoas	3	383	393	418	446	477	513	554
Cañales Ab.	1	186	191	202	213	225	236	247
Cañales Ar.	1	345	354	375	396	417	438	459
Candelarita	6	245	247	254	261	268	275	283
Cerbatana	1	1 471	1 507	1 597	1 686	1 776	1 866	1 956
Charcón	1	53	55	58	61	64	68	71
Cirrí	1	283	289	307	324	341	358	376
Estero	5	554	538	499	462	427	395	365
Guatuso	3	41	42	45	48	52	55	60
Piedades	3	407	416	443	473	506	544	588
Polca	6	111	112	115	118	121	125	128
Pozos	1	310	318	336	355	374	393	412
San Antonio	8	301	314	348	385	427	472	523
San Juan	3	226	232	247	263	282	303	327
San Rafael	5	58	57	53	49	45	42	38
Santiago 1	1	360	369	391	413	435	457	479
Santiago 2	1	1 408	1 442	1 528	1 614	1 700	1 786	1 872
Santiago 3	1	3 519	3 605	3 820	4 034	4 249	4 464	4 679
Santiago 4	1	3 691	3 781	4 006	4 231	4 456	4 682	4 907
Santiago 5	1	968	991	1 050	1 110	1 169	1 228	1 287
Santiago 6	1	559	572	606	640	674	708	743
Total Acueducto		**15 673**	**16 021**	**16 899**	**17 791**	**18 699**	**19 627**	**20 580**

Fuente: el autor.

3.6 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL ESPACIO Y EN EL TIEMPO

Además de las proyecciones expuestas en las secciones anteriores, se debe considerar que la cobertura del acueducto aumentará en los próximos 25 años. Esto implica que se servirán otros pueblos circundantes a Santiago que no se están sirviendo hoy, y que la cobertura parcial de algunos pueblos puede llegar a ser mayor o hasta total.

Para poder evaluar este fenómeno, es necesario conocer por adelantado el patrón de crecimiento que seguirá la población de interés en el futuro. En el caso de Santiago de Puriscal, a falta de un plan regulador de desarrollo, fue necesario determinar su tendencia natural de expansión.

Para este propósito se utilizó el registro de permisos de construcción de la Municipalidad de Puriscal. La mayor limitación de esta información es que se extiende apenas 4 años (2000-2003), y de estos, sólo los 2 últimos están completos.

Sin embargo, junto con la información de fincas del Registro Nacional, estos datos fueron suficientes para ubicar las construcciones más recientes en el plano. Esto permite apreciar cuál es el patrón de crecimiento de la población cubierta por el acueducto de Santiago (ver fig. 3.7).

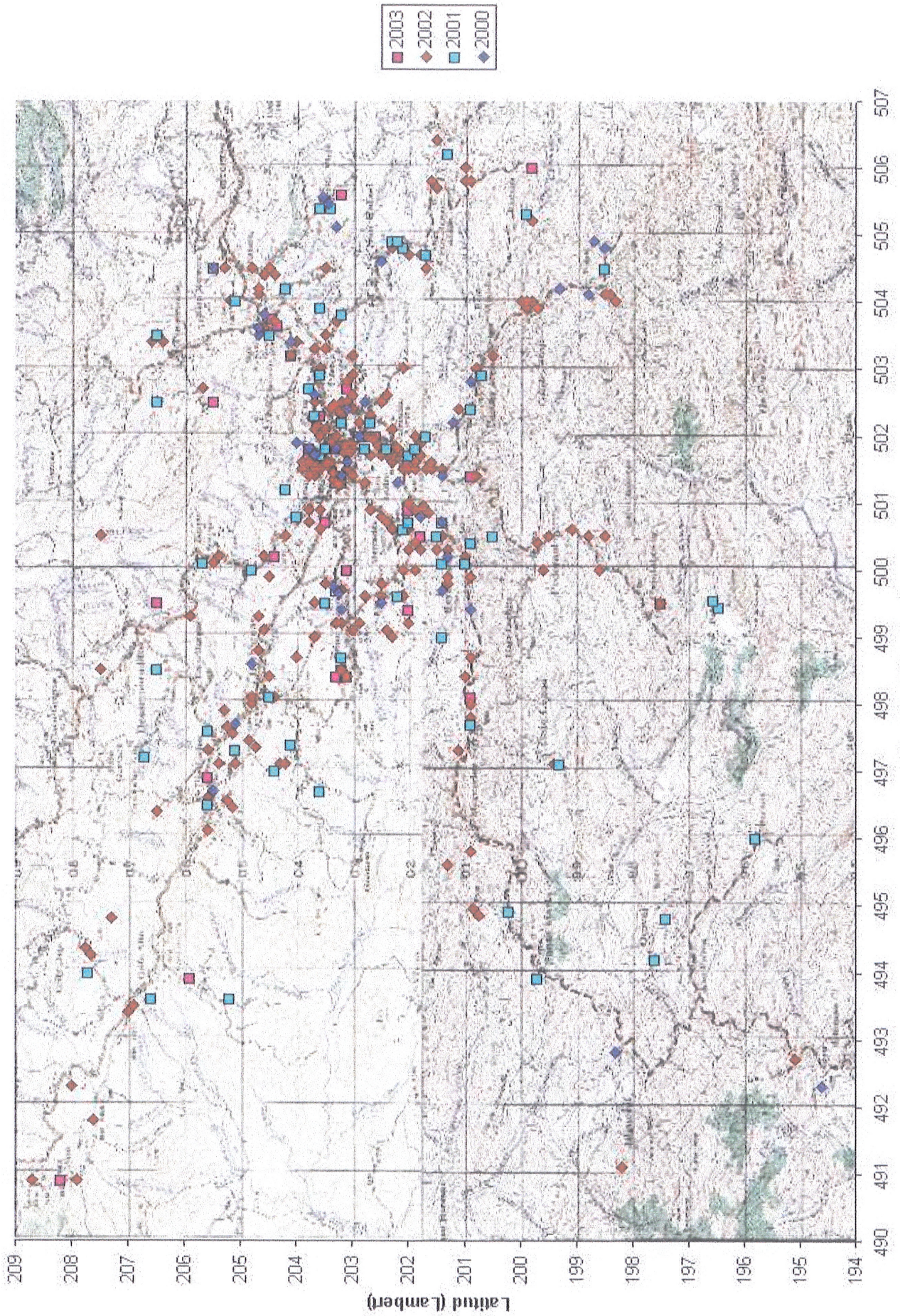


Fig. 3.7. Permisos de construcción área Acueducto de Santiago

De esta forma, se hace evidente que el area del acueducto tiende a desarrollarse casi uniformemente en las direcciones que marcan sus accesos. Sin embargo, se diferencian tres tendencias principales:

- Hacia el Sudoeste, cubriendo:
  Junquillo, San Isidro, Mercedes Norte y Cerbatana.
  (Áreas: S5, S6 y Cerbatana)

- Hacia el Oeste - Noroeste, cubriendo:
  San Juan, Barbacoas y Piedades.

- Hacia el Noreste, cubriendo:
  Pueblo Nuevo, San Antonio
  (Áreas: S3 y San Antonio)

Con este patrón, los pueblos más susceptibles de cubrirse por el acueducto en los próximos años son: Bajo Burgos, Bajo Legüita, Carit, Mercedes Sur, Pedernal y Zapote.

De la misma forma en que se hizo para el área cubierta por el acueducto, se pueden calcular las poblaciones para estas futuras comunidades a cubrir. La tabla 3.10 muestra estos valores y sus respectivas proyecciones para el año 2030.

También se considerará que para el final del período de interés el acueducto cubra al 100% los poblados que hoy tienen cobertura parcial. La tabla 3.11 muestra este crecimiento.

Tabla 3.10. Crecimiento de la población por expansión.

Pueblo	Distrito	LÍMITES				Habitantes	
		Oeste	Este	Sur	Norte	2003	2030
Bajo Burgos	3	497.4	499.0	205.4	206.5	325	470
Bajo Legüita	2	498.0	500.0	199.5	200.6	364	421
Carit y Zapote	1	499.6	501.0	205.0	206.4	592	787
Mercedes Sur	2	495.5	498.0	200.3	201.7	640	739
		498.0	498.5	200.6	201.7		
Pedernal	6	500.0	501.5	199.5	200.6	1 081	1 250
		499.3	501.5	198.2	199.5		
Total						**3 002**	**3 667**

Fuente: el autor.

Tabla 3.11. Crecimiento de la población por incremento de la cobertura.

Pueblo	Cobertura	Hab. 2030		Δ
		Cubiertos	Total	
Barbacoas	25%	554	2 218	1 663
Estero	50%	365	731	365
Guatuso	50%	60	120	60
Piedades	50%	588	1 176	588
San Antonio	50%	523	1 046	523
San Juan	30%	327	1 092	764
San Rafael	15%	38	256	218
Total		**2 457**	**6 639**	**4 182**

Fuente: el autor.

Así, las proyecciones de población deben considerar además un incremento de **7 849** habitantes debido al crecimiento de la zona de cobertura. La tabla 3.12 muestra los resultados incorporando este crecimiento de forma proporcional a las proyecciones. En la figura 3.8 se grafican estos resultados generales de proyección.

Tabla 3.12. Proyecciones de población considerando el crecimiento.

Zona	HABITANTES						
	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Acueducto	15 673	16 021	16 899	17 791	18 699	19 627	20 580
+ Crecimiento	15 673	16 590	18 898	21 230	23 590	25 987	28 429

Fuente: el autor.

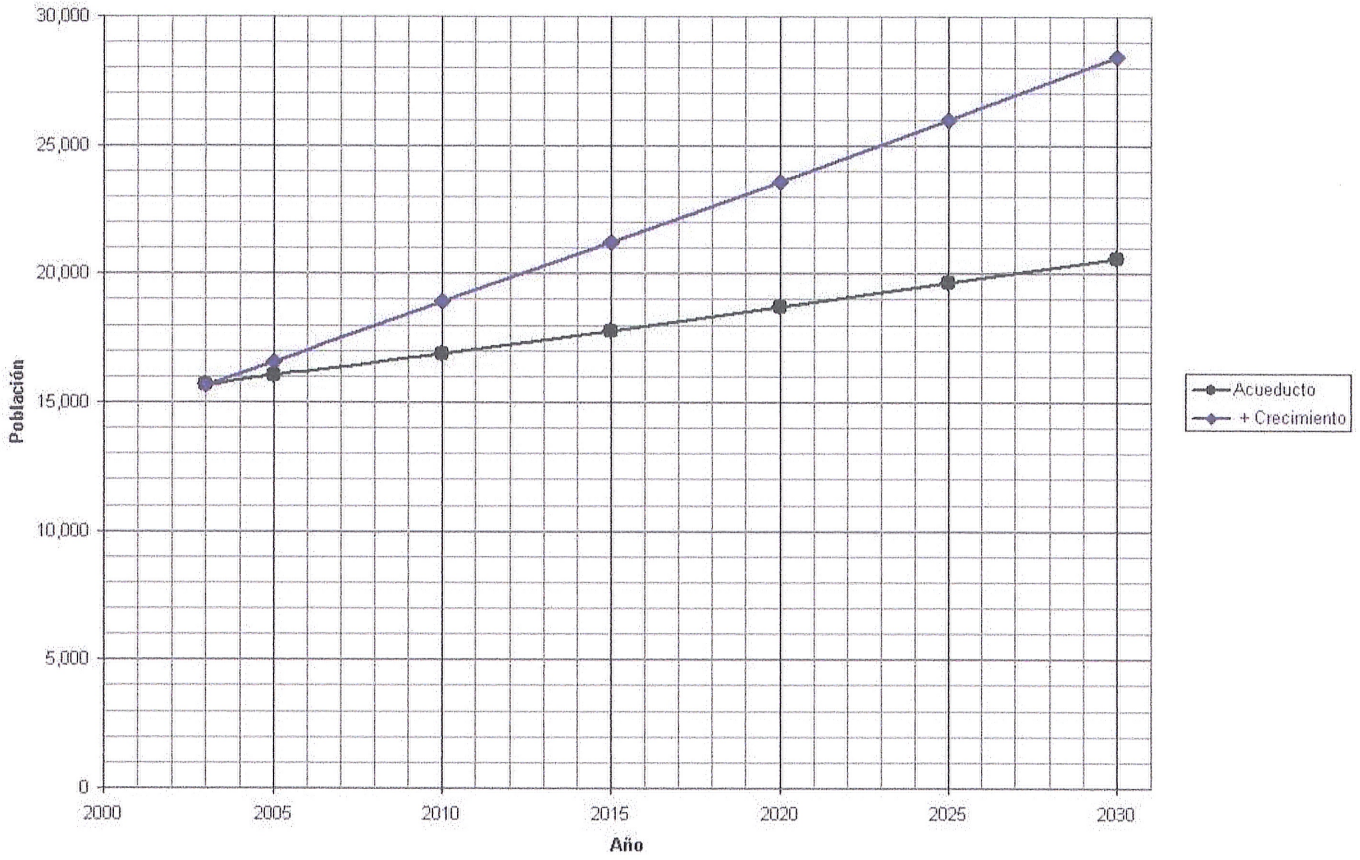


Fig. 3.8. Proyecciones de población total del acueducto.

La distribución de población propuesta se basa en el patrón actual de desarrollo de la zona, y podría variar si las condiciones cambian. El operador del sistema (AyA Puriscal) debe corroborar que se esté siguiendo la tendencia aquí indicada, para efectos de planeación. Las mejoras al sistema que se proponen en el capítulo 7 pueden cambiar según el desarrollo de la población.

CAPÍTULO 4:

CONSUMO Y DEMANDA

4.1 GENERALIDADES

En este capítulo se estimaron las cantidades de agua que requiere la población cubierta por el Acueducto de Santiago de Puriscal.

El consumo promedio por persona en un día se llama dotación, y se expresa en l/(hab·d) o litros por habitante por día. Este valor depende del tipo de población en cuestión y sus circunstancias climáticas, culturales, económicas, de desarrollo, etc.

La dotación incluye tanto el agua consumida en las actividades domésticas, como la de uso público, comercial e industrial. Además considera las pérdidas por agua no contabilizada.

Una vez estimado el consumo individual promedio (dotación), se puede calcular cuánta agua requerirá la población servida en total (demanda). Este valor es la necesidad que el acueducto debe cubrir y normalmente se expresa en l/s o litros por segundo.

Idealmente, las fuentes de un acueducto deben tener una capacidad mayor a su demanda. Sin embargo, el crecimiento de la población eventualmente llevará al acueducto a un punto de equilibrio y posteriormente producirá un faltante de agua.

Este déficit puede solventarse con varias medidas diferentes. Entre las principales se pueden mencionar:

1. Buscar nuevas fuentes de agua para abastecer el acueducto.
2. Disminuir las fugas mediante el mantenimiento de los sistemas.
3. Disminuir la presión en la red (reduce fugas y desperdicio).
4. Aumentar la micromedición.
5. Implementar un sistema comercial eficiente y con tarifas adecuadas.
6. Educar a la población sobre el uso racional del agua.

Debido a que la demanda de agua fluctúa según el día de la semana, y según la hora del día, se hace necesario además cuantificar estas variaciones. Para este efecto es necesario conocer el patrón de consumo de la población en cuestión. Este patrón depende de los mismos factores que la dotación, pero especialmente de las costumbres y actividades cotidianas de los habitantes.

Las dimensiones de las tuberías de conducción y distribución, así como de los tanques de almacenamiento se definen según las variaciones diarias y horarias de la demanda.

4.2 DISTRIBUCIÓN DE SERVICIOS POR GRUPO TARIFARIO

La tabla 4.1 muestra los sectores cubiertos por el AyA en el Cantón de Puriscal. Los sectores marcados en rojo no se abastecen de las fuentes del Acueducto de Santiago.

Tabla 4.1. Sectores de Puriscal cubiertos por el AyA.

Sector	Nombre
001	SANTIAGO DE PURISCAL
002	CAÑALES ABAJO
003	MERCEDES NORTE-ACUED.SANTIAGO
005	BAJO BADILLAS
006	SANTA CECILIA
007	POZOS
009	CERBATANA
010	MERCEDES NORTE-FUENTE GARITA
011	BAJO LA LEGUA
012	ALTO LA LEGUA
015	LA GLORIA
016	BARBACOAS
029	SAN ANTONIO
030	PIEDADES
031	CANDELARITA

Fuente: Base de datos Open SGC del AyA.

Para los sectores cubiertos por el acueducto de Santiago, la tabla 4.2 muestra la cantidad servicios instalados en cada tipo de tarifa, así como su consumo total durante abril de 2002.

Las columnas marcadas en azul corresponden a los **servicios domiciliares** (tarifas tipo 1), las demás son **servicios no domiciliares**. Las tarifas "R" corresponden a sectores rurales. Las tarifas "U" corresponden a sectores urbanos. Las tarifas "E" son especiales.

Tabla 4.2. Servicios y consumo para abril de 2002.

	Sector	E1F	E2F	E4F	R1	R2	R3	R4	R5	U1	U2	U3	U4	U5
Servicios	001	0	0	0	1	0	1	0	0	2039	185	49	33	18
	002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	003	0	0	0	159	0	1	4	0	0	0	0	0	0
	006	0	0	0	148	0	2	1	1	0	0	0	0	0
	007	0	0	0	225	1	1	5	0	0	0	0	0	0
	009	0	0	0	406	0	3	5	1	0	0	0	0	0
	011	22	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	016	0	0	0	372	6	4	5	1	0	0	0	0	0
	029	0	0	0	695	6	3	10	3	0	0	0	0	0
	030	0	0	0	141	0	2	3	0	0	0	0	0	0
	031	0	0	0	157	1	0	3	0	0	0	0	0	0

Consumo ($x10^3$ m^3)	001	0	0	0	0.03	0	0.02	0	0	47.5	4.19	2.18	2.83	0.54
	002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	003	0	0	0	4.07	0	0.02	0.15	0	0	0	0	0	0
	006	0	0	0	3.79	0	0.05	0.21	0.08	0	0	0	0	0
	007	0	0	0	4.34	0.02	0.02	0.12	0	0	0	0	0	0
	009	0	0	0	8.80	0	0.11	0.11	0.02	0	0	0	0	0
	011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	016	0	0	0	8.29	0.15	0.08	0.20	0.02	0	0	0	0	0
	029	0	0	0	16.0	0.09	0.15	0.41	0.32	0	0	0	0	0
	030	0	0	0	3.20	0	0.03	0.09	0	0	0	0	0	0
	031	0	0	0	3.27	0.04	0	0.05	0	0	0	0	0	0

Fuente: Base de datos Open SGC del AyA.

4.3 VALORES TÍPICOS DEL PAÍS

El AyA ha definido valores típicos de consumo individual promedio diario (dotación) para Costa Rica. Éstos se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Dotaciones típicas en Costa Rica.

Zona	Dotación l/(hab·d)
Rural	150 – 250
Urbana	250 – 300
Caribe (no costera)	300 – 350
Ciudad portuaria	350 – 400
GAM	350 – 400

Fuente: Manual de Diseño de Acueductos del AyA.

4.4 VALORES PROPIOS DE LA ZONA

Según la tabla 4.3, la población servida por el Acueducto de Santiago de Puriscal debería tener una dotación de entre 250 y 300 l/(hab·d), correspondiente a una zona urbana. Sin embargo, por su cercanía a la capital, es posible que su dotación se parezca más a la de las poblaciones de la Gran Área Metropolitana (GAM), que está en el rango de 350 a 400 l/(hab·d).

Según el último estudio realizado por la Ing. Ileana Atan Chan, en el Departamento de Optimización de Sistemas del AyA, las dotaciones estimadas para el cantón Puriscal son las siguientes:

Tabla 4.4. Dotaciones para el cantón Puriscal.

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidades
Consumo mensual promedio	CMS	23.0	m^3/serv./mes
Dotación domiciliar	D	**193.5**	l/hab/d
Dotación no domiciliar	ND	**40.7**	l/hab/d
Exceso por servicios fijos	EF	**1.5**	l/hab/d
Porcentaje de agua no controlada	%ANC	40.6	%
Agua no controlada	ANC	**160.7**	l/hab/d
Dotación	**Dotación**	**396.4**	l/hab/d

Fuente: Informe Ing. Ileana Atan C., AyA 2003.

En la sección 4.5 se muestra el cálculo de estos parámetros en mayor detalle. Debe tomarse en cuenta que la dotación estimada en esa sección corresponde sólo a las poblaciones cubiertas por el Acueducto de Santiago, a diferencia de la mostrada en la tabla 4.4, que considera todos los sistemas abastecidos por el AyA en el cantón de Puriscal.

4.5 DOTACIONES DE DISEÑO

La dotación es el consumo individual diario promedio en la población de interés. En este caso, Santiago y los pueblos aledaños (población servida por el Acueducto de Santiago). Esta variable corresponde a la suma de cuatro componentes:

$$Dotación = D + ND + EF + ANC$$

D = 214.2 l/hab/d (Dotación domiciliar medida)
ND = 24.3 l/hab/d (Dotación no domiciliar medida)
EF = 1.1 l/hab/d (Exceso por servicios fijos)
ANC = 99.8 l/hab/d (Agua no controlada: 29.4%)

Σ = **339.4 l/hab/d (Dotación promedio)**

La base teórica se muestran en el capítulo 2 (Marco Teórico). El cálculo de los componentes de la dotación promedio se detalla a continuación.

Para evaluar las dotaciones domiciliar y no domiciliar de forma representativa es necesario utilizar un registro mínimo de un año. En las tablas 4.5 y 4.6 se presentan los datos de los 12 meses considerados en este cálculo.

Tabla 4.5. Registro mensual de servicios domiciliares (jul-2001 a jul-2002)

	2001						2002					
Sector	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	**01**	**02**	**03**	**04**	**06**	**07**
001	2010	2015	2012	2006	2015	2025	2025	2034	2040	2040	2053	2054
002	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
003	58	57	59	99	117	131	141	145	152	159	168	170
006	146	146	147	147	147	149	149	147	147	148	148	147
007	212	211	214	215	215	215	217	221	222	225	225	225
009	390	391	393	394	397	399	403	401	404	406	410	411
011	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
016	354	354	358	358	358	358	364	367	368	372	372	374
029	681	687	689	692	689	686	687	690	687	695	696	704
030	133	133	133	133	134	133	134	137	139	141	140	141
031	154	154	155	157	158	156	158	157	156	157	154	156

Fuente: Base de datos Open SGC del AyA (facturación).

Tabla 4.6. Consumo domiciliar mensual (en miles de m^3)

	2001						2002					
Sector	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	**01**	**02**	**03**	**04**	**06**	**07**
001	46.4	46.2	46.5	44.9	43.5	46.6	46.2	47.1	46.0	47.5	144.9	51.0
002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
003	1.6	1.6	1.5	5.5	5.6	3.6	-2.9	4.1	3.5	4.1	4.2	3.5
006	3.2	3.2	3.2	3.4	3.1	3.3	3.1	3.8	3.1	3.8	2.9	2.9
007	4.2	4.2	4.4	4.1	4.2	4.1	4.7	4.2	4.7	4.3	3.9	3.3
009	8.4	8.1	8.1	8.2	8.4	8.4	9.1	8.6	8.8	8.8	7.7	107.3
011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
016	7.0	7.2	7.9	7.7	7.7	7.8	8.5	7.9	8.3	8.3	7.8	7.0
029	15.4	15.2	16.1	14.7	15.4	14.9	15.9	15.1	16.2	16.0	14.6	23.6
030	2.7	2.7	2.6	2.8	2.7	2.4	2.5	2.9	2.7	3.2	2.2	2.4
031	3.5	3.3	3.5	3.3	3.3	3.2	3.8	3.2	4.2	3.3	3.0	2.6

Fuente: Base de datos Open SGC del AyA (facturación).

Los valores negativos de consumo corresponden a la reposición de volúmenes no contabilizados en meses anteriores.

Sumando los datos de ambas tablas tenemos:

$$\mathbf{CMS} = \frac{Vol_{DOMICILIAR.MEDIDO}}{Servicios_{DOMICILIARES.MEDIDOS}} = \frac{1339.9 \cdot 10^3 m^3}{51388.serv \cdot mes} = \mathbf{26.1}\ \mathbf{m^3}/(\mathbf{serv \cdot mes})$$

Conocido el consumo mensual promedio, y dado que el factor de hacinamiento del cantón es 4.0 (ver tabla 1.9):

$$\mathbf{D} = \frac{1000 \cdot CMS}{30 \cdot FH} = \frac{1000\ l/m^3 \cdot 26.1\ m^3/(serv \cdot mes)}{30\ d/mes \cdot 4.0\ hab/serv} = \mathbf{214.2}\ \mathbf{l}/(\mathbf{hab \cdot d})$$

Ahora, la dotación no domiciliar medida es:

$$\mathbf{ND} = \frac{Vol_{NO.DOMICILIAR}}{Vol_{DOMICILIAR}} \cdot D = \frac{1339.9x10^3 m^3 \cdot mes}{152.1x10^3 m^3 \cdot mes} \cdot 214.2\ l/(hab \cdot d) = \mathbf{24.3}\ \mathbf{l}/(\mathbf{hab \cdot d})$$

Para evaluar la razón de servicios fijos (f/t) promedio anual, se usaron los datos de la tabla 4.7:

Tabla 4.7. Registro mensual de servicios medidos y servicios fijos.

Año	Mes	Medidos	Fijos
2001	07	4711	47
	08	4674	47
	09	4661	47
	10	4593	46
	11	4540	46
	12	4599	45
2002	01	4624	45
	02	4640	45
	03	4745	45
	04	4792	44
	06	4822	41
	07	4834	41

Fuente: Base de datos Open SGC del AyA (facturación).

$$\frac{f}{t} = \frac{Servicios_{FIJOS}}{Servicios_{TOTALES}} = \frac{\sum_{mes=07-2001}^{07-2002} Servicios_{FIJOS.mes}}{\sum_{mes=07-2001}^{07-2002} Servicios_{FIJOS.mes} + \sum_{mes=07-2001}^{07-2002} Servicios_{MEDIDOS.mes}}$$

$$\frac{\mathbf{f}}{\mathbf{t}} = \frac{539.serv \cdot mes}{(539+56235).serv \cdot mes} = \mathbf{0.95\%}$$

Entonces, el exceso por servicios fijos es:

$$\mathbf{EF} = 0.5 \cdot \frac{f}{t} \cdot (D + ND) = 0.5 \cdot 0.95\% \cdot (214.2 + 24.3)\ {}^{l}/_{(hab \cdot d)} = \mathbf{1.1}\ {}^{\mathbf{l}}/_{(\mathbf{hab} \cdot \mathbf{d})}$$

Estimando el porcentaje de agua no controlada (%ANC):

$$\%ANC = \frac{Vol_{PRODUCIDO} - Vol_{FACTURADO}^{MEDIDO} + \left(CMS \cdot Servicios_{DOMICILIARES} \cdot \frac{f}{t} \right) \cdot 1.5}{Vol_{PRODUCIDO}}$$

$$\%ANC = \frac{178.6 \cdot 10^3 \, m^3/mes - 124.3 \cdot 10^3 \, m^3/mes + \left(26.1 \, m^3/(serv \cdot mes) \cdot 4632.serv \cdot 0.95\% \right) \cdot 1.5}{178.6 \cdot 10^3 \, m^3/mes}$$

%ANC = 29.4%

Así, se puede evaluar el agua no controlada (ANC):

$$\mathbf{ANC} = (D + ND + EF) \cdot \left(\frac{1}{1 - \%ANC} - 1 \right) = (214.2 + 24.3 + 1.1) \cdot \left(\frac{1}{1 - 0.294} - 1 \right) = \mathbf{99.8} \; \mathbf{l/(hab \cdot d)}$$

Finalmente, la dotación se obtiene sumando estos 4 componentes:

$$\mathbf{Dotación} = D + ND + EF + ANC = 214.2 + 24.3 + 1.1 + 99.8 = \mathbf{339.4} \; \mathbf{l/(hab \cdot d)}$$

Dotación = 339.4 l/(hab·d)

4.6 PROYECCIONES DE LA DEMANDA

Una vez conocido el requerimiento actual de agua por persona, se pueden hacer proyecciones de su valor para el período de interés.

Estas estimaciones futuras consideran dos esfuerzos importantes de parte del AyA de Puriscal. En primer lugar, el aumento en la medición hasta llegar a la cobertura total ($EF_{futuro}=0$). En segundo lugar, la reducción del porcentaje de agua no controlada hasta alcanzar un valor de 20% ($\%ANC_{actual}=29.4\%$).

Según el CEPIS (2000), los registros de ANC menores al 20% se observan sólo en Europa y EE.UU., y son pocas las ciudades latinoamericanas que alcanzan valores inferiores al 25%. Sin embargo, en el caso del Acueducto de Santiago, es muy probable que se pueda disminuir considerablemente el ANC con sólo reducir las sobrepresiones en su sistema de distribución. Estas mejoras propuestas se detallan en el capítulo 7.

Se supuso que estos cambios se darán de forma gradual a través del período de interés. Sin embargo esto depende de la política institucional del AyA, la cual define sus prioridades y capacidad. Ambos cambios son muy importantes, dada la escasez de recursos hídricos con capacidad de ser aprovechados eficientemente en la zona.

La tabla 4.8 muestra las estimaciones de dotación durante el período de interés, considerando los cambios en la medición y el agua no controlada antes mencionados.

Tabla 4.8. Proyección de la dotación en l/hab/d.

Año	D	ND	EF	ANC	Dotación
2003	214.2	24.3	1.1	99.8	339.4
2005	214.2	24.3	1.0	96.8	336.4
2010	214.2	24.3	0.8	89.5	328.8
2015	214.2	24.3	0.6	82.1	321.2
2020	214.2	24.3	0.4	74.7	313.6
2025	214.2	24.3	0.2	67.3	306.0
2030	214.2	24.3	0.0	59.9	298.4

Fuente: el autor.

A partir de estos datos de dotación, y utilizando las proyecciones de la población servida, se pueden calcular los consumos o demandas promedio, de la siguiente forma:

$$Demanda = Población \cdot Dotación$$

$$Demanda = 15673[hab] \cdot 339.4\left[{}^{l}/_{(hab \cdot d)} \right]$$

$$Demanda = 5.32 \cdot 10^{6}\left[{}^{l}/_{d} \right]$$

$$Convirtiendo_unidades:$$

$$1\,{}^{l}/_{d} \cdot \frac{1d}{24h} \cdot \frac{1h}{60min} \cdot \frac{1min}{60s} = \frac{1}{86400} \cdot {}^{l}/_{s}$$

$$Demanda_{ACTUAL} = 61.6\left[{}^{l}/_{s} \right]$$

Las proyecciones de la demanda se muestran en la tabla 4.9. La columna marcada en azul corresponde al consumo estimado con las dotaciones antes proyectadas. La columna marcada en rojo estima el consumo en el caso de que la dotación mantenga su valor actual.

Tabla 4.9. Proyección de la demanda

Año	Población	Demanda	Demanda (sin control)
	habitantes	l/s	l/s
2003	15 673	**61.6**	61.6
2005	16 590	**64.6**	65.2
2010	18 898	**71.9**	74.2
2015	21 230	**78.9**	83.4
2020	23 590	**85.6**	92.7
2025	25 987	**92.0**	102.1
2030	28 429	**98.2**	111.7

Fuente: el autor.

Para efectos de los cálculos posteriores, de aquí en adelante se utilizó la demanda controlada. Esto porque se supone que, en los próximos años, el AyA tomará las medidas necesarias para optimizar el aprovechamiento del agua en Santiago.

4.7 DEMANDAS MÁXIMA DIARIA Y MÁXIMA HORARIA

Las demandas encontradas en la sección 4.6 son promedios diarios. Sin embargo, estos valores fluctúan durante el día. Al igual que la dotación, esta variación horaria o patrón de consumo de agua depende de las características de la población servida.

El clima, los horarios escolares y laborales, y la composición socioeconómica de la población, entre otros, definen sus costumbres, y por lo tanto la forma en que los pobladores utilizan el agua a través del día.

La figura 4.1 muestra el patrón de consumo para Santiago de Puriscal.

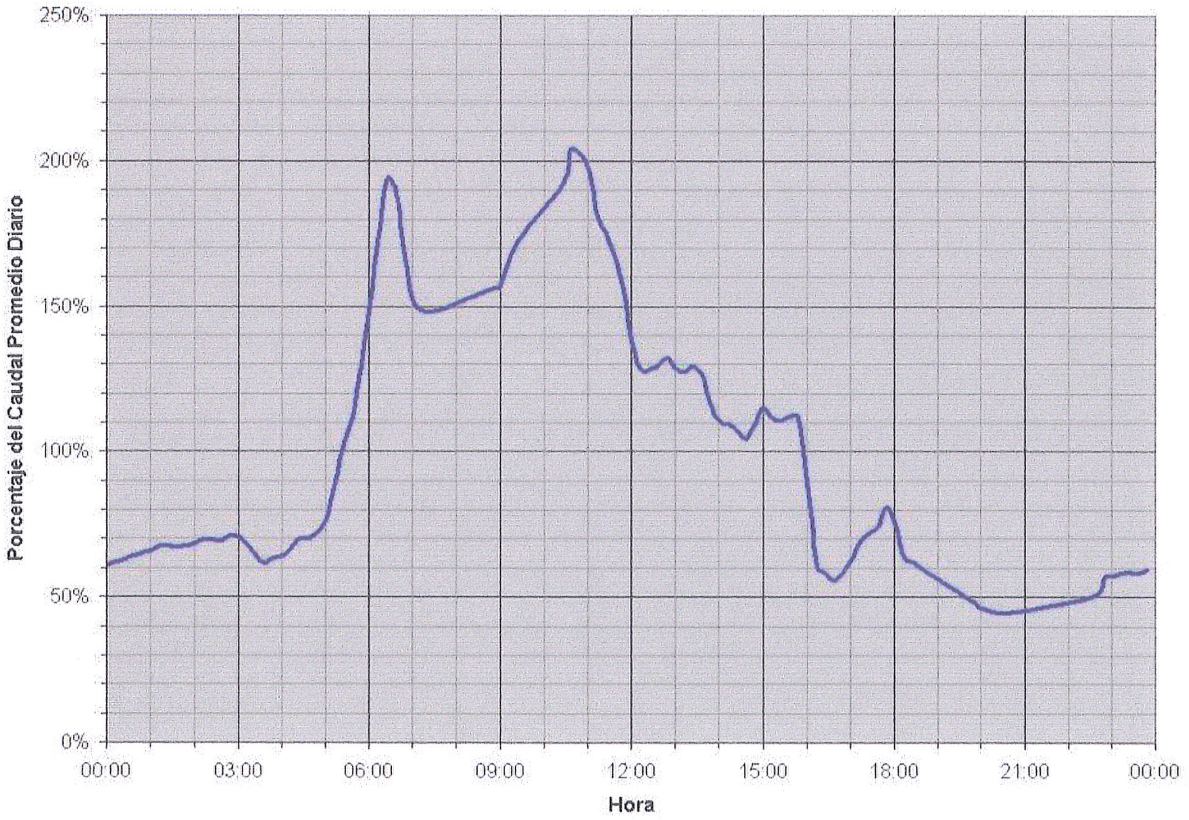


Fig. 4.1. Curva de variación horaria. Santiago de Puriscal.

Para dibujar esta curva se utilizaron los datos de caudal demandado en la salida a Santiago del tanque de concreto de Junquillo. Los caudales se registraron durante el 27 de setiembre de 2001. El caudal promedio diario fue 25.4 l/s.

En el registro se ven dos picos principales, que coinciden con lo encontrado típicamente en nuestro país. El primero corresponde al lapso entre las 5:am y las 7:am; hora en la que la mayor parte de la población se asea para empezar el día. El segundo se extiende entre las 9:am y las 12:md, y se debe a que, a esa hora, se prepara el almuerzo en la mayoría de las viviendas, restaurantes, sodas, etc.

Fuera de esos dos períodos de máxima demanda, el consumo tiende a valores mínimos, típicos de la noche y la madrugada. La única excepción es el pico secundario que se produce alrededor de las 6:pm, y que probablemente se debe a que una parte considerable de la población ha regresado de sus actividades cotidianas y se dispone a cenar.

De este mismo registro se puede obtener el valor del factor máximo horario (FMH) para la población en cuestión. Éste corresponde a la relación entre el mayor de los caudales picos de la curva horaria y el caudal promedio diario. En este caso **FMH=2.04**.

El factor máximo diario (FMD) no puede obtenerse de estos datos, pues requiere un registro de varios días; como mínimo una semana. A falta de estos datos, se considerará la sugerencia de las Normas del AyA (1986) de **FMD=1.50**.

Conocidos estos factores y las proyecciones de la demanda promedio, se pueden estimar las demandas máximas diaria y horaria para

el período de interés. La tabla 4.10 desglosa la proyección de los picos diarios y horarios de la demanda.

Tabla 4.10. Proyección de las demandas máximas

Año	Promedio	Máxima	
		Diaria	Horaria
	l/s	l/s	l/s
2003	61.6	92.4	125.6
2005	64.6	96.9	131.8
2010	71.9	107.9	146.7
2015	78.9	118.4	161.0
2020	85.6	128.4	174.7
2025	92.0	138.0	187.7
2030	98.2	147.3	200.3

Fuente: el autor.

Las demandas máximas diarias corresponden a la carga de diseño para las conducciones en el acueducto. Las estructuras en la red de distribución, en cambio, soportan las demandas máximas horarias.

4.8 ESTIMACIÓN DEL DÉFICIT DE AGUA (BALANCE PRODUCCIÓN - DEMANDA)

La tabla 4.11 detalla la producción promedio de las diferentes fuentes que abastecen al acueducto de Santiago.

Tabla 4.11. Resumen de producción promedio

Origen	l/s
Ríos Tabarcia	*52.9*
Ríos Negro	
Desamparaditos	*16.7*
Cañales	*19.9*
Cañalitos	
TOTAL	***89.4***

Fuente: mediciones del AyA entre 1995 y 2000.

De este total, cierto caudal se desvía desde la planta de tratamiento de Quitirrisí hacia otras localidades fuera de la zona de cobertura del acueducto de Santiago. El detalle de estas derivaciones se desglosa en la tabla 4.12.

Tabla 4.12. Promedio de derivaciones de la planta Quitirrisí

Destino	l/s
Ciudad Colón	*19.0*
Morados	*2.5*
TOTAL	***21.5***

Fuente: mediciones del AyA entre 1995 y 2000.

Es decir, el caudal promedio destinado al acueducto de Santiago es Q = 89.4 - 21.5 = **67.9 l/s**. La diferencia entre la producción promedio y la demanda promedio (superávit) se muestra en la tabla 4.13. Este valor del superávit es de alrededor del 10% de la demanda. Considerando el error

de estos cálculos, se puede suponer que el sistema se encuentra actualmente muy cerca de su punto de equilibrio.

Tabla 4.13. Superávit actual

Producción	67.9 l/s
Demanda	61.6 l/s
SUPERÁVIT	**6.3** l/s

Fuente: el autor.

En poco tiempo, la población servida demandará más agua y habrá un déficit considerable. Además, el sistema actual no produce suficiente agua para condiciones de emergencia, donde la demanda sobrepase el consumo promedio.

Por esto, se hace necesario aumentar la captación de las fuentes actuales, o inyectar un caudal adicional de nuevas fuentes.

En el capítulo 5 se cuantifica la capacidad de producción de las dos fuentes principales del acueducto (tomas de los ríos Negro y Tabarcia) para estimar la proyección en el tiempo del balance producción - demada.

CAPÍTULO 5:

RECURSOS HÍDRICOS DE LA REGIÓN

5.1 GENERALIDADES

Debido a la irregular topografía de la región, el acueducto de Santiago de Puriscal debe tomar sus aguas fuera del distrito de Santiago e incluso fuera del cantón Puriscal. Sus fuentes están a elevaciones menores o a distancias considerables. Por esta razón, todas las aguas que lo abastecen deben ser impulsadas por bombas.

El Acueducto de Santiago de Puriscal es alimentado por tres sistemas, que almacenan sus aguas en dos tanques en Junquillo (sector sur de Santiago).

1. Al tanque de concreto (350m^3, 1165 m.s.n.m.) llegan:

   a. **Sistema Desamparaditos**: 5 nacientes captadas a 785 m.s.n.m., (al NW de Santiago) y conducidas por gravedad 1.6 km hasta la estación Desamparaditos (770 m.s.n.m.). Allí, el agua se bombea 2.0 km hasta la estación Bajo Burgos (991 m.s.n.m.), donde se rebombea otros 2.0 km hasta el tanque Barbacoas (1207 m.s.n.m., 50 m^3). Finalmente, el agua se conduce por gravedad 5.7 km.
   b. **Sistema Cañalitos - Cañales**: una naciente captada a 940 m.s.n.m. (Cañalitos, al S de Santiago) y bombeada 0.8 km hasta la estación Cañales (1000 m.s.n.m.). Allí se capta una segunda naciente y se rebombean ambas aguas 2.2 km.

2. Al tanque metálico (850m^3, 1175 m.s.n.m.) llegan:

c. **Sistema Río Tabarcia:** se capta con una toma de fondo a 1264 m.s.n.m. (al E de Santiago) y se lleva por gravedad 0.6 km hasta un desarenador (1262 m.s.n.m.). Esta agua se conduce 10.2 km hasta la planta de tratamiento Quitirrisí 1 (1093 m.s.n.m.).

d. **Sistema Río Negro:** se capta con una toma de fondo a 1242 m.s.n.m. (al E de Santiago) y se desarena en sitio. Esta agua se conduce 1.2 km hasta un tanque quiebragradientes (1177 m.s.n.m., 3 m^3). De allí se lleva por gravedad 10.5 km hasta la planta de tratamiento Quitirrisí 2. (1092 ms.n.m.).

Las aguas tratadas en la planta de Quitirrisí se conducen a la estación elevadora de presión (búster) de San Antonio (1043 m.s.n.m.), desde donde se bombean 3.6 km hasta el tanque metálico de Junquillo (850m^3, 1175 m.s.n.m.).

La tabla 5.1 resume los caudales nominales de las fuentes del acueducto de Santiago.

Tabla 5.1. Caudales mínimos nominales y máximos supuestos de las captaciones.

Fuente	$Q_{mín}$ (l/s)	$Q_{máx}$ (l/s)
Desamparaditos	15.0	18.0
Cañales	7.4	17.0
Cañalitos	3.5	3.5
Río Tabarcia	30.0	50.0
Río Negro	20.0	30.0
Total	**75.9**	**118.5**

Fuente: AyA, Dept. Estudios Básicos

5.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

La región de Santiago y sus alrededores está dominada por suelos finos, altamente meteorizados (ver sección 1.1.5). Esto se traduce en permeabilidades bajísimas y poca estabilidad de taludes.

Esta condición permite la explotación de aguas subterráneas únicamente cuando se hallan en forma de nacientes, como es el caso de las fuentes Desamparaditos, Cañales y Cañalitos.

Según la hidrogeóloga Viviana Ramos, del Departamento de Estudios Básicos del AyA, el aprovechamiento de pozos en la zona de Santiago está desechado por su poca factibilidad técnico-económica.

Sin embargo, Ramos afirma que hace falta realizar un estudio a profundidad del potencial hídrico subterráneo y su facilidad de extracción, que justifique o rectifique esta política de la institución.

5.3 AGUAS SUPERFICIALES

Los datos presentados en la tabla 5.1 son estimados a partir de la capacidad instalada, sin embargo no se conoce con certeza el potencial explotable de las fuentes que suplen el acueducto.

Para cuantificar este potencial se requiere de datos históricos de los caudales de las fuentes. Dado que la única información que existe se refiere a los ríos Negro y Tabarcia, en este capítulo se definirán y analizará la capacidad de estas dos fuentes únicamente.

5.3.1 Definición de Cuencas Hidrográficas

Las cuencas de los ríos Negro y Tabarcia pertenecen al sistema de afluentes del Río Grande de Candelaria. La tabla 5.2 muestra el tamaño de estas cuencas.

Tabla 5.2. Dimensiones de las cuencas.

Cuenca	Área km^2	Perímetro km
Tabarcia	7.54	13.8
Negro	7.17	12.5

Fuente: el autor, a partir de hoja Abra, IGN.

En la figura 5.1 se indican las cuencas y la ubicación de las tomas como puntos rojos.

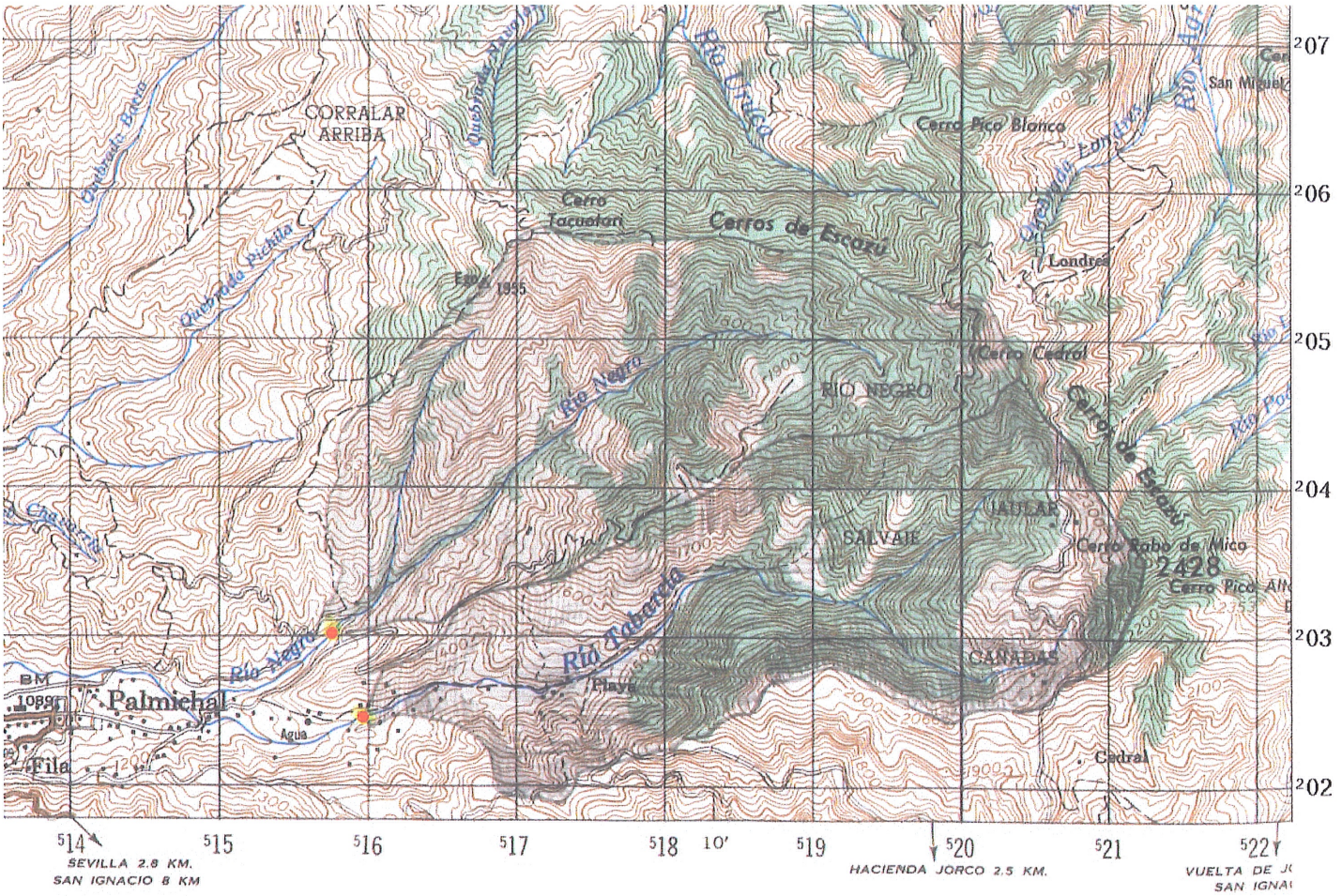


Figura 5.1. Cuencas hidrográficas Río Negro y Río Tabarcia (Abra, IGN).

5.3.2 Análisis de Ocurrencia de Caudales Mínimos

En el capítulo anterior se indicó que el sistema de Santiago se encuentra cercano a su punto de equilibrio producción – demanda. En el futuro mediato la demanda habrá crecido y se deberán adicionar caudales de nuevas fuentes a la producción actual, para solventar el faltante.

Antes de buscar estas fuentes se puede considerar, como medida a corto plazo, un aumento en el aprovechamiento de las actuales. Por esta razón, en esta sección se desarrolló un análisis de caudales mínimos de los ríos Negro y Tabarcia, para cuantificar su capacidad. De esta forma, se pudo determinar el período durante el cual no serán necesarias nuevas fuentes.

El análisis se realizó sólo para estas dos fuentes, pues las de Desamparaditos, Cañales y Cañalitos no cuentan con información.

La información para los ríos Negro y Tabarcia, que mantiene el AyA, consiste en una base de datos de aforos. Hay un promedio de 3 ó 4 mediciones de caudal instantáneo, por año, a la altura de las tomas y en algunas ubicaciones aguas arriba (ver tabla 5.3 y fig. 5.2).

Sin embargo, estos datos no son suficientes, pues es necesario contar con la serie anual de caudales mínimos promedio diarios. Por esta razón, adicionalmente se recurrió a la información hidrológica del ICE.

La ubicación más cercana a los ríos en cuestión, medida por el ICE, es la **Estación 26-01 El Rey** sobre el Río Grande de Candelaria. Este río además, es destinatario de las aguas conducidas por los ríos Negro y Tabarcia.

Tabla 5.3. Estaciones de aforo para los ríos Negro y Tabarcia.

ESTACIÓN		UBICACIÓN		
Código	**Nombre**	**Longitud**	**Latitud**	**Elevación**
17	RÍO NEGRO ARRIBA DE PRESA	515.20	202.60	1180.00
04	RÍO NEGRO #1	515.75	203.00	1240.00
05	RÍO NEGRO #2	515.20	202.60	1180.00
07	RÍO NEGRO N°3	516.88	204.04	1400.00
02	RÍO TABARCIA #1	516.75	202.70	1340.00
03	RÍO TABARCIA #2	515.85	202.40	1260.00
08	RÍO TABARCIA N°3	517.32	202.70	1400.00
09	RÍO TABARCIA N°4	517.56	202.78	1420.00
Toma N.	Toma Río Negro	515.78	203.04	1241.00
Toma T.	Toma Río Tabarcia	515.96	202.47	1264.40

Fuente: AyA, Dept. Estudios Básicos.

La estación El Rey se encuentra a más de 20 km al sur de las tomas y mide las aguas drenadas en una cuenca de más de 600 km^2 de extensión. Sin embargo, ésta es la información disponible más cercana a las fuentes de interés, las cuales depositan sus aguas en el Río Grande de Candelaria.

En la estación El Rey, el ICE registra continuamente el caudal del Río Grande de Candelaria. Con esta información se obtuvieron los caudales instantáneos correspondientes a la fecha de cada aforo del AyA en los ríos Negro y Tabarcia (ver anexo 6).

Los datos de las estaciones 07 (río Negro), 08 y 09 (río Tabarcia) fueron desechados debido a su brevedad y lejanía de las tomas. La información restante fue consolidada en dos series, una para cada río.

Los datos de estas series fueron correlacionados, en su forma estandarizada, con los caudales correspondientes registrados por la estación El Rey (ver figuras 5.3 y 5.4).

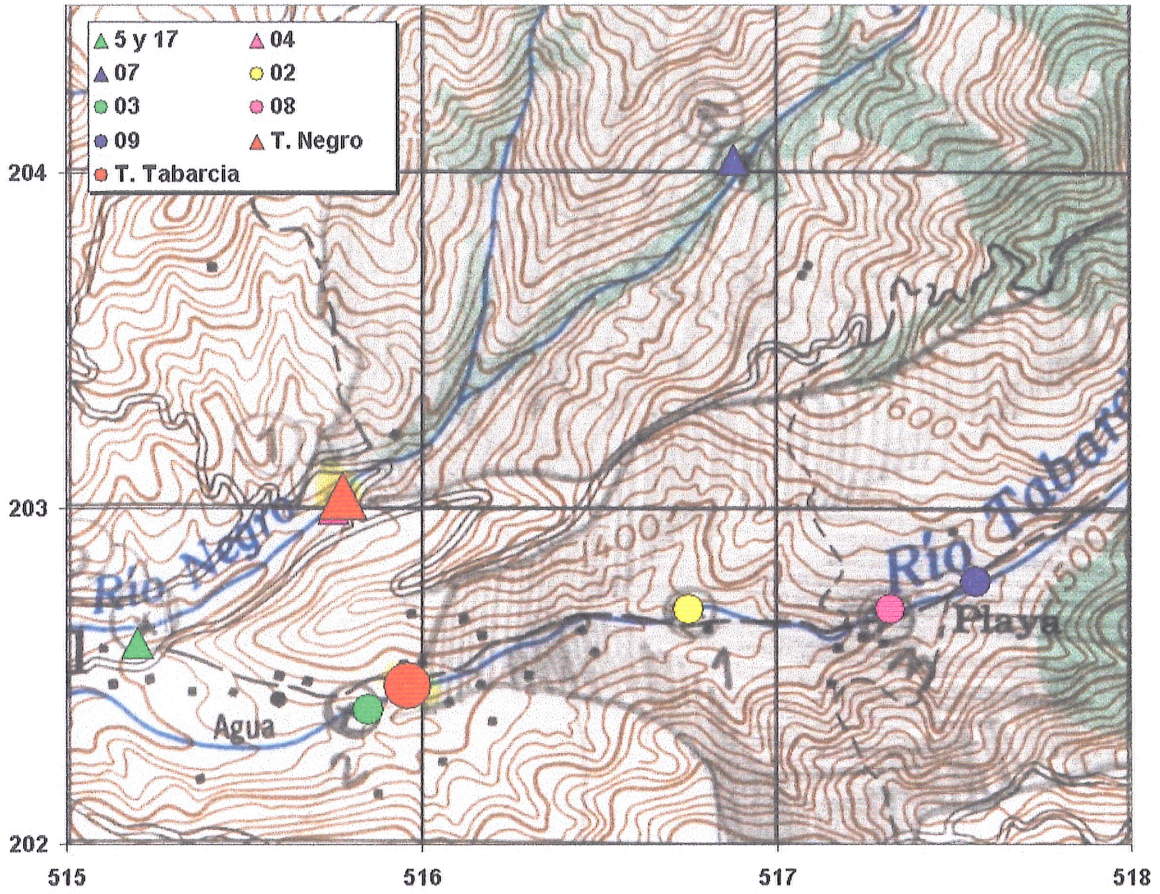


Figura 5.2. Estaciones de aforo para los ríos Negro y Tabarcia.

En ambos casos, los caudales fueron filtrados por época del año (seca o lluviosa) y se eliminaron los datos más dispersos. Para los dos ríos la correlación matemáticamente más representativa resultaba ser cuadrática. Sin embargo, la función lineal interpreta mejor, en ambos ríos, la relación entre las series en el rango inferior a la vecindad del origen; donde se encuentran los datos de mayor interés (caudales mínimos).

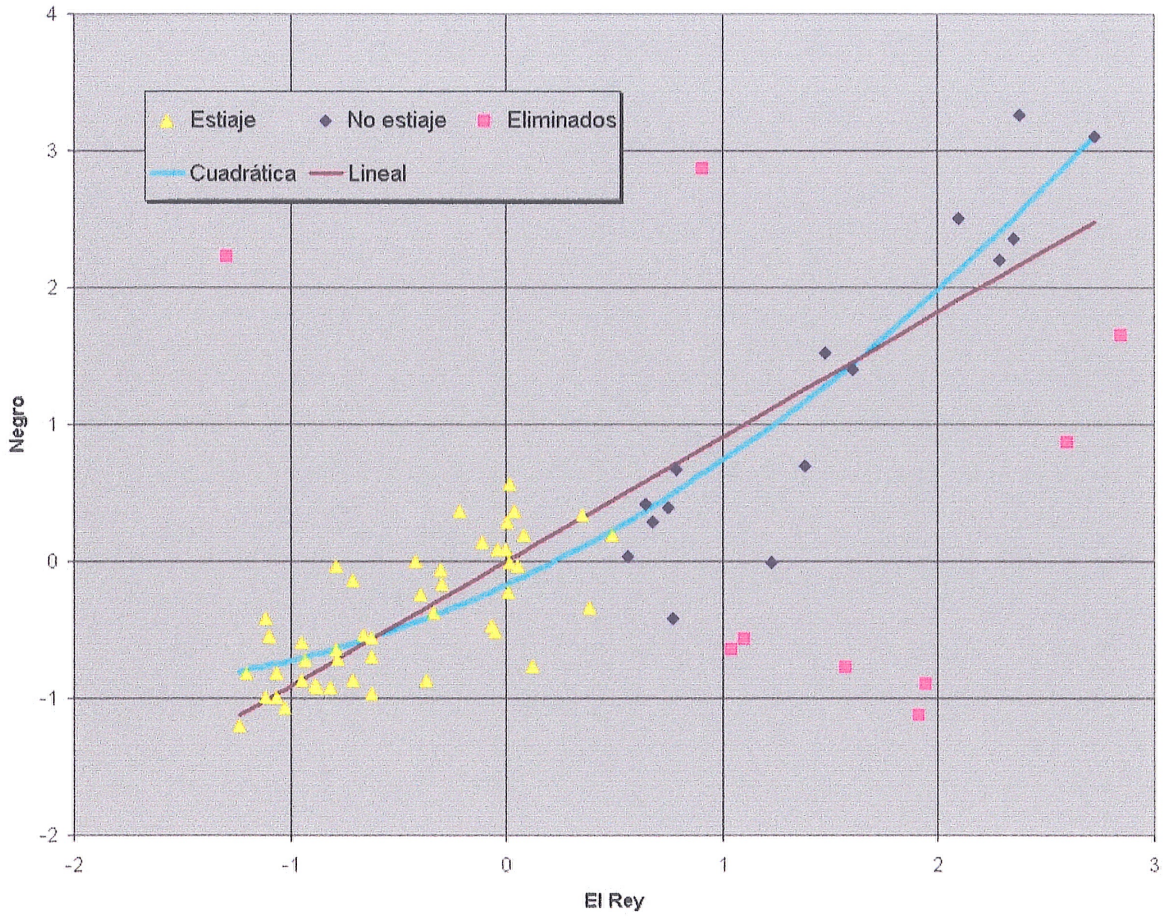


Fig. 5.3. Correlación de caudales estándar Río Negro – Estación El Rey

La tabla 5.4 muestra las características de las dispersiones de estiaje para ambos ríos.

Tabla 5.4. Parámetros estadísticos de los datos de estiaje.

	El Rey	Tabarcia
	m^3/s	l/s
Máximo	14.70	259.00
Mínimo	3.02	55.30
Promedio	6.71	105.91
Desviación Estándar	2.79	40.87

El Rey	Negro
m^3/s	l/s
15.90	216.00
3.21	38.95
7.17	86.52
3.21	39.73

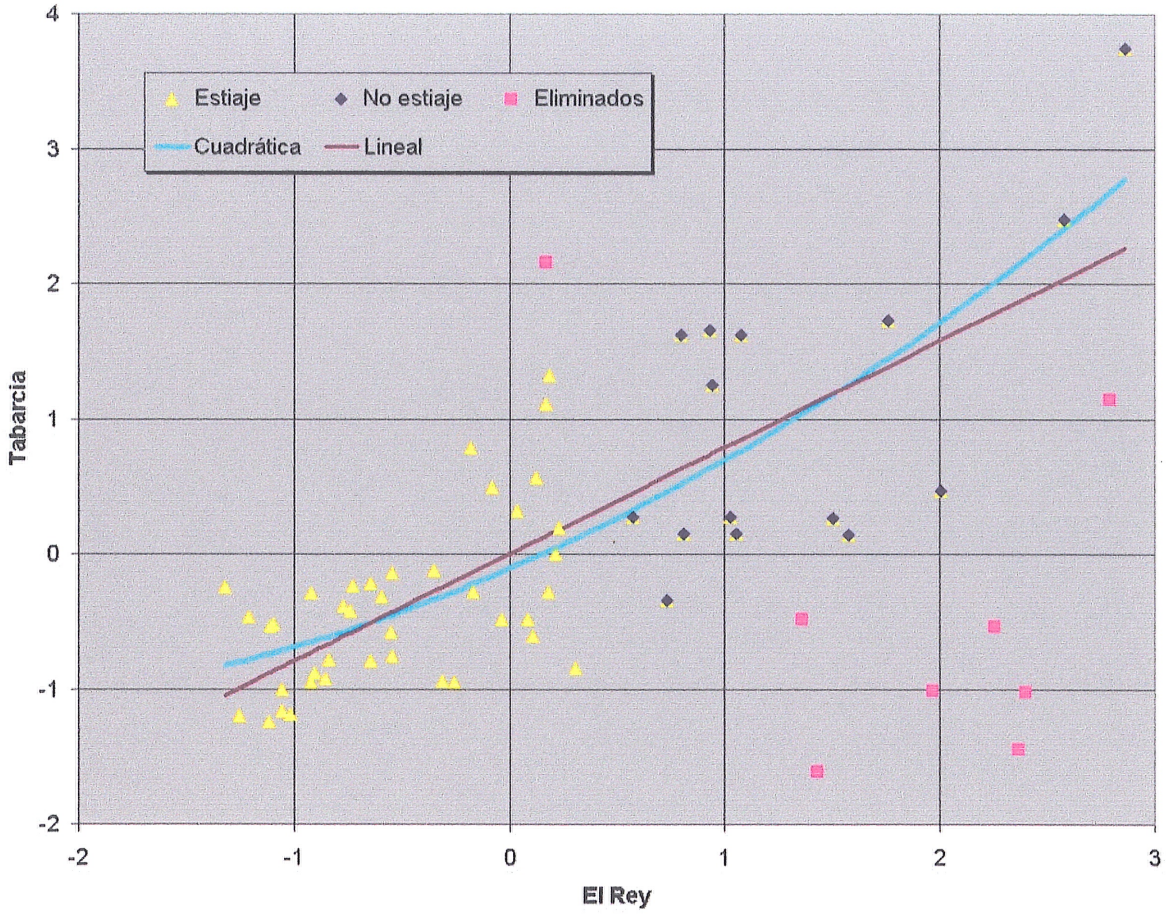


Fig. 5.4. Correlación caudales estándar Río Tabarcia – Estación El Rey

Una vez correlacionados los caudales, se pueden generar las series anuales de caudales mínimos promedio diarios para los ríos Negro y Tabarcia, estimadas a partir de la información de la estación El Rey (ver anexo 7).

Nótese que, por su magnitud, el dato del año 1963 no corresponde al rango de caudales anuales mínimos promedio diarios, por lo que se desechó para el análisis de ocurrencia de mínimos.

Los caudales de cada serie se ordenaron ascendentemente para luego calcular su probabilidad anual de ocurrencia y su período de retorno.

Finalmente, con cada río se realizó un análisis de regresión con distribuciones de probabilidad. Para este propósito se usó el programa Colibrí, diseñado en el ICE y de aplicación para análisis hidrológico.

Estos resultados se muestran gráficamente en las figuras 5.5 y 5.6.

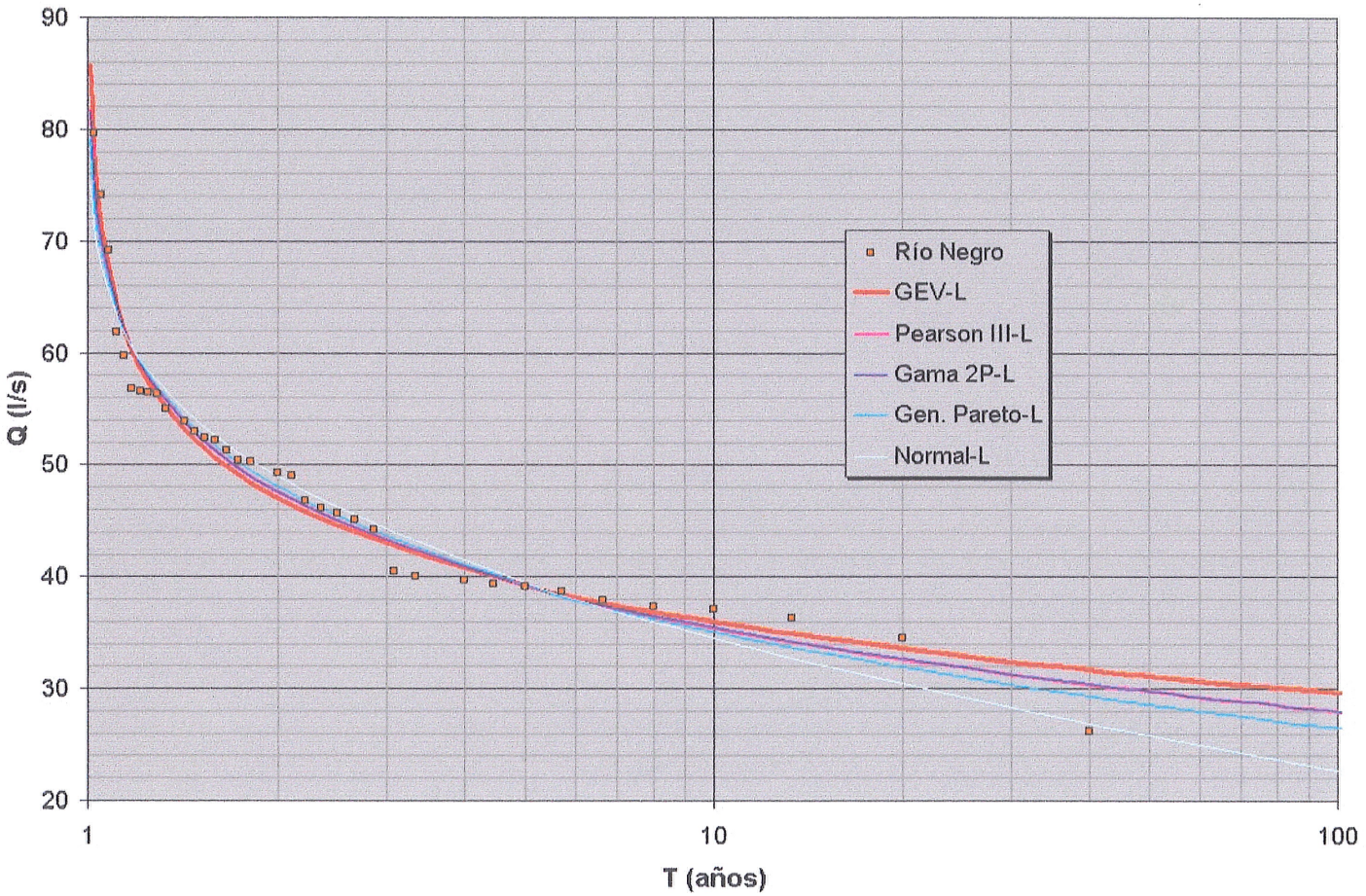


Fig. 5.5. Caudal mínimo contra Período de Retorno para Río Negro.

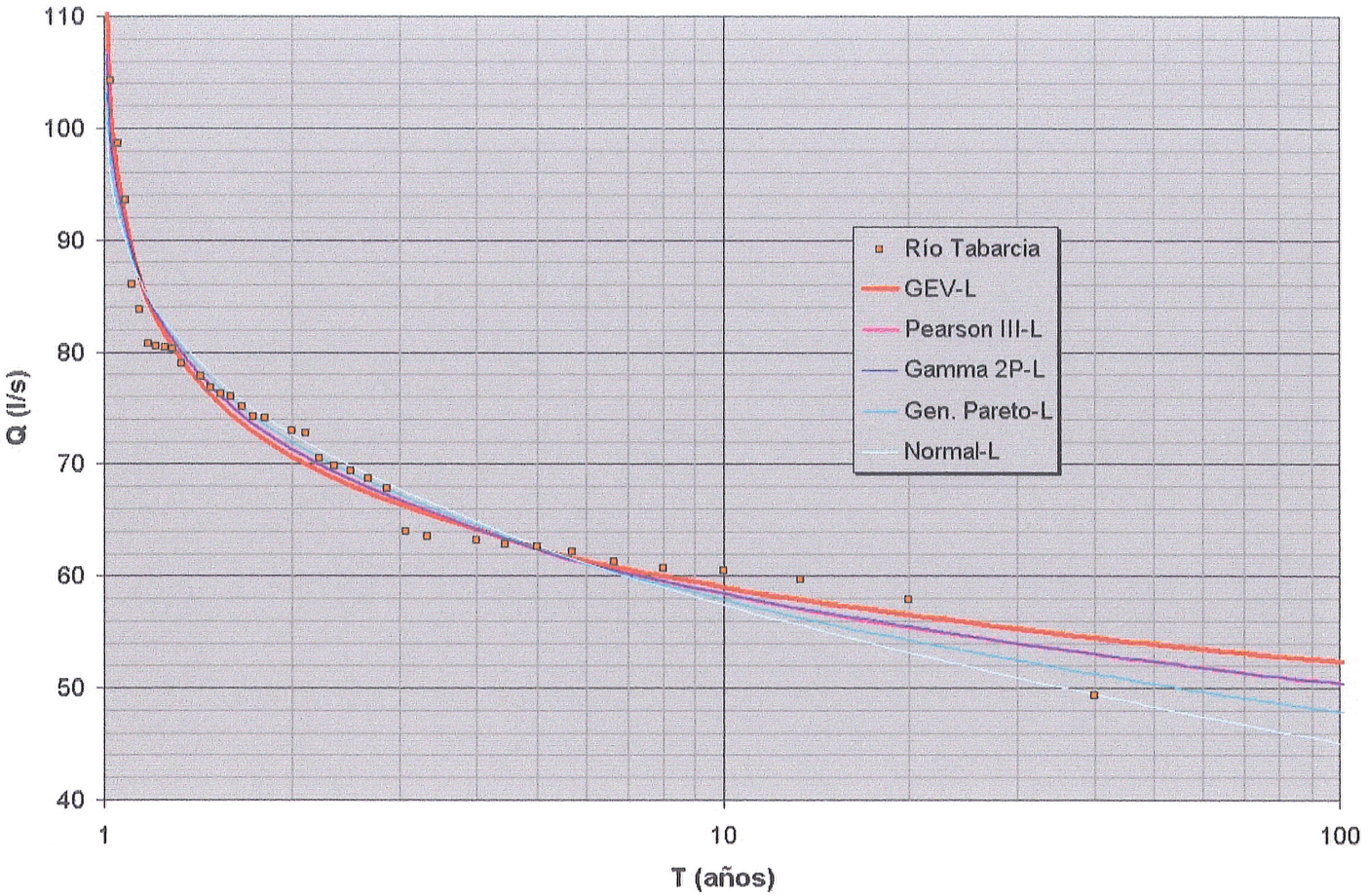


Fig. 5.6. Caudal mínimo contra Período de Retorno para Río Tabarcia.

Estas distribuciones se ordenaron por su bondad de ajuste en la leyenda de ambos gráficos. Nótese que en los dos casos la distribución GEV-L (General de Valores Extremos con Momentos Lineales) resultó ser la más representativa.

En la tabla 5.5 se desglosan los caudales mínimos estimados con la curva GEV-L de mejor ajuste para cada río. El ICE tiene como norma diseñar para el caudal con período de retorno 500 años, o en su defecto 100 años. Sin embargo, el interés del presente análisis es determinar la capacidad mínima de explotación de las fuentes para los próximos 25 años, por lo que tomaremos como determinantes los caudales mínimos anuales para 30 años de período de retorno.

Tabla 5.5. Caudales mínimos según distribución GEV-L.

T (años)	Negro (l/s)	Tabarcia (l/s)
2	47.0	70.6
5	39.3	62.5
10	36.0	59.1
20	33.6	56.5
30	**32.4**	**55.3**
50	31.1	53.9
100	29.7	52.4
200	28.4	51.0
500	26.9	49.5
1000	25.9	48.5

Fuente: el autor e ICE (UENPySA).

Dado el potencial de explotación de las fuentes principales, y conocidas las demandas de la población (ver capítulo 3), se puede proyectar la situación del acueducto para los próximos 25 años.

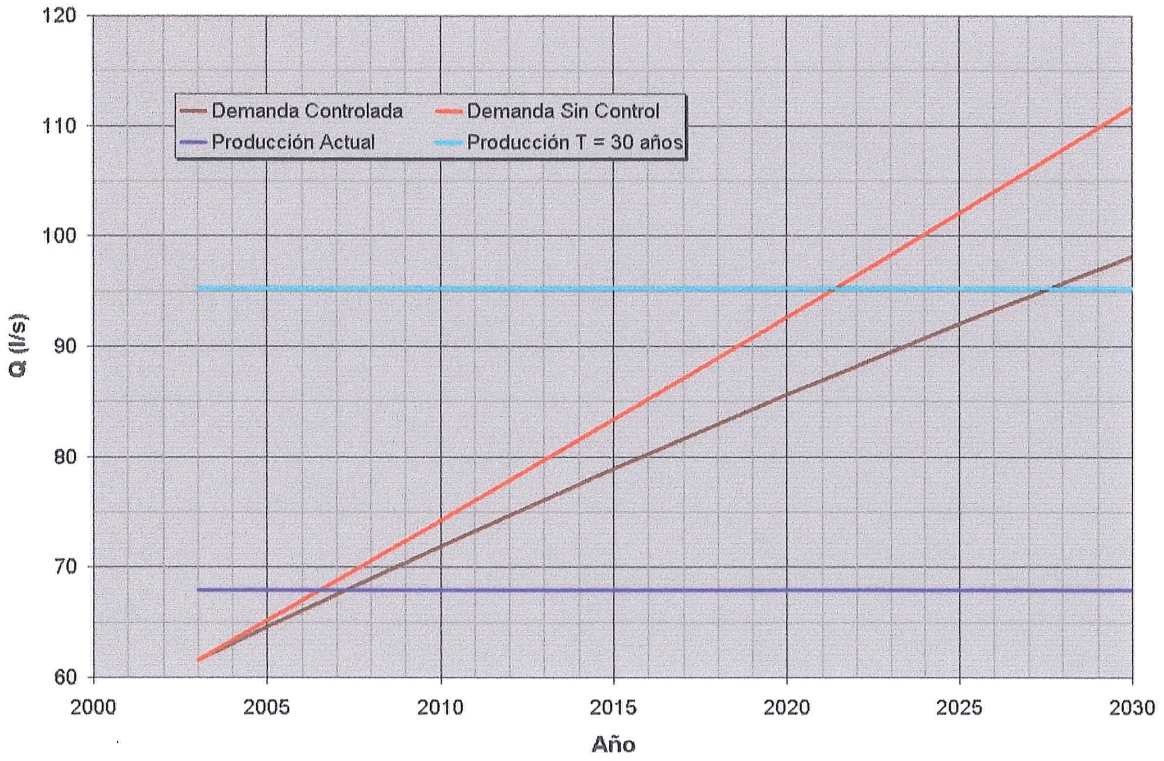


Fig. 5.7. Producción y Demanda en el período de diseño.

En la figura 5.7. se aprecian los resultados del presente análisis. Las producciones presente y futura consideran además, el aporte actual de los sistemas Desamparaditos (Qmín=15 l/s) y Cañales – Cañalitos (Qmin=11 l/s). Asimismo se rebajan de la producción, los caudales derivados a Ciudad Colón (17 l/s) y Morado (2.5 l/s).

Se puede concluir que Santiago **no requiere de nuevas fuentes** para suplir sus necesidades de agua durante los próximos 25 años. No obstante, esto está sujeto a que la capacidad de las tomas, conducciones y estructuras de tratamiento instaladas en los ríos Negro y Tabarcia permita el aprovechamiento de los caudales indicados en la tabla 5.5.

Por lo tanto, la afirmación anterior depende del cumplimiento de las siguientes condiciones:

1. Se aumentará la capacidad de los sistemas Río Negro y Río Tabarcia, y se protegerán sus cuencas.

2. Se protegerán las fuentes de Desamparaditos, Cañales y Cañalitos para garantizar su producción actual en el futuro.

3. Se modificará la tendencia de crecimiento de la demanda mediante la disminución del agua no controlada y el aumento en la medición.

5.4 FUENTES FUTURAS

Al cabo del período de estudio considerado en la sección anterior (año 2030), Santiago se hallará nuevamente en el punto de equilibrio entre producción y demanda. En ese momento será necesario aprovechar nuevas fuentes hídricas.

Dada la comprometida situación hidrogeológica de las vecindades de Santiago, es posible que estas nuevas aguas hayan de explotarse fuera del distrito, y probablemente fuera del cantón.

Es muy posible que, en el futuro, el Acueducto de Santiago de Puriscal deba fundirse con otros sistemas cercanos, para poder cubrir su necesidad de agua en forma regional.

Los últimos esfuerzos del AyA se han enfocado en esta dirección. Ejemplo de ello es el llamado Acueducto Regional de Puriscal y Mora en sus etapas I y II. Estos proyectos toman hoy el agua de los ríos Negro y Tabarcia para suplir al sistema de Santiago, así como a dos localidades del cantón de Mora (Bº San Bosco de Ciudad Colón y Morado).

Resulta lógico pensar que dentro de 25 años, esta integración de acueductos se plasme como solución al problema de agua potable en la región. Los esfuerzos para mejorar las estructuras existentes, la investigación, y la planificación que se logren en este lapso, serán determinantes para el desarrollo de la zona.

Además, la rentabilidad para el AyA, y la calidad del servicio brindado dependerán de lo que se logre en estos próximos años.

A continuación se proponen algunas fuentes de aguas superficiales (tabla 5.6). Su potencial de aprovechamiento deberá ser determinado detalladamente en otros estudios.

Tabla 5.6. Posibles fuentes superficiales futuras.

#	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación máxima	Hoja IGN	Fuentes
1	Cerro Turrubares	485	198	1756	Candelaria	Quebrada Pital, Quebrada Pitalito, Quebrada Barrios.
2	Altos del Aguacate	489	196	1634	Candelaria	Quebrada Azul, Río Turrubares, Río Tulín.
3	Cerro Túfares	493	194	1210	Candelaria	Río Cajón, Quebrada Pava, Quebrada Copal.
4	Cerro Cangreja	496	190	1305	Candelaria	Río Cajón, Quebrada Pava, Quebrada Copal.
5	Fila Aguabuena	517	187	2230	Caraigres	Río Tiquires.
6	Alto Reflis	517	191	1886	Caraigres	Quebrada Limonal.
7	Cerro Caraigres	521	190	2506	Caraigres	Río La Mesa, Río Caraigres, Quebrada Salvaje.
8	Cerro Abejonal	532	188	2030	Caraigres	Quebrada Piedades, Quebrada Moras, Río Tarrazú.
9	Alto Buenavista	521	192	1777	Caraigres	Quebrada Roble, Quebrada Pacayas.
10	Altos Tablazo	531	202	1983	Caraigres, Abra	Río Jericó, Río Conejo, Río Cañas, Río Jorco.
11	Alto Caña Quemada	515	208	1813	Abra	Quebrada Pichila, Quebrada Barro.
12	Cerro Pacacua	514	209	1620	Abra	Quebrada Honda, Quebrada Ticufres, Río Pacacua.
13	Cerbatana	500	201	1620	Candelaria	Quebrada Pital.

Fuente: el autor, a partir de hojas IGN 1 : 50 000.

La tabla 5.6 enumera las fuentes tentativas que se pueden destacar en un área de 20 km alrededor de Santiago. Las figuras 5.8 y 5.9 muestran la misma información gráficamente.

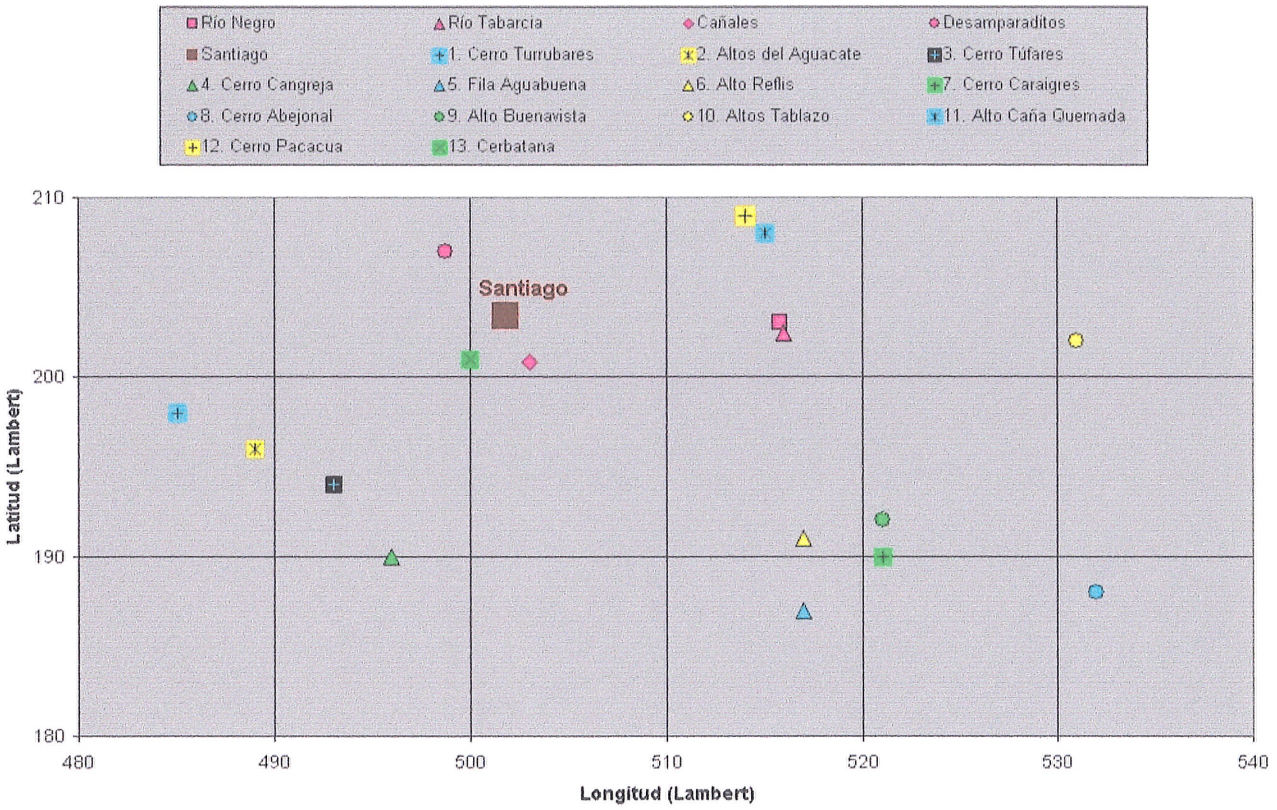


Fig. 5.8. Ubicación en el plano de las fuentes tentativas.

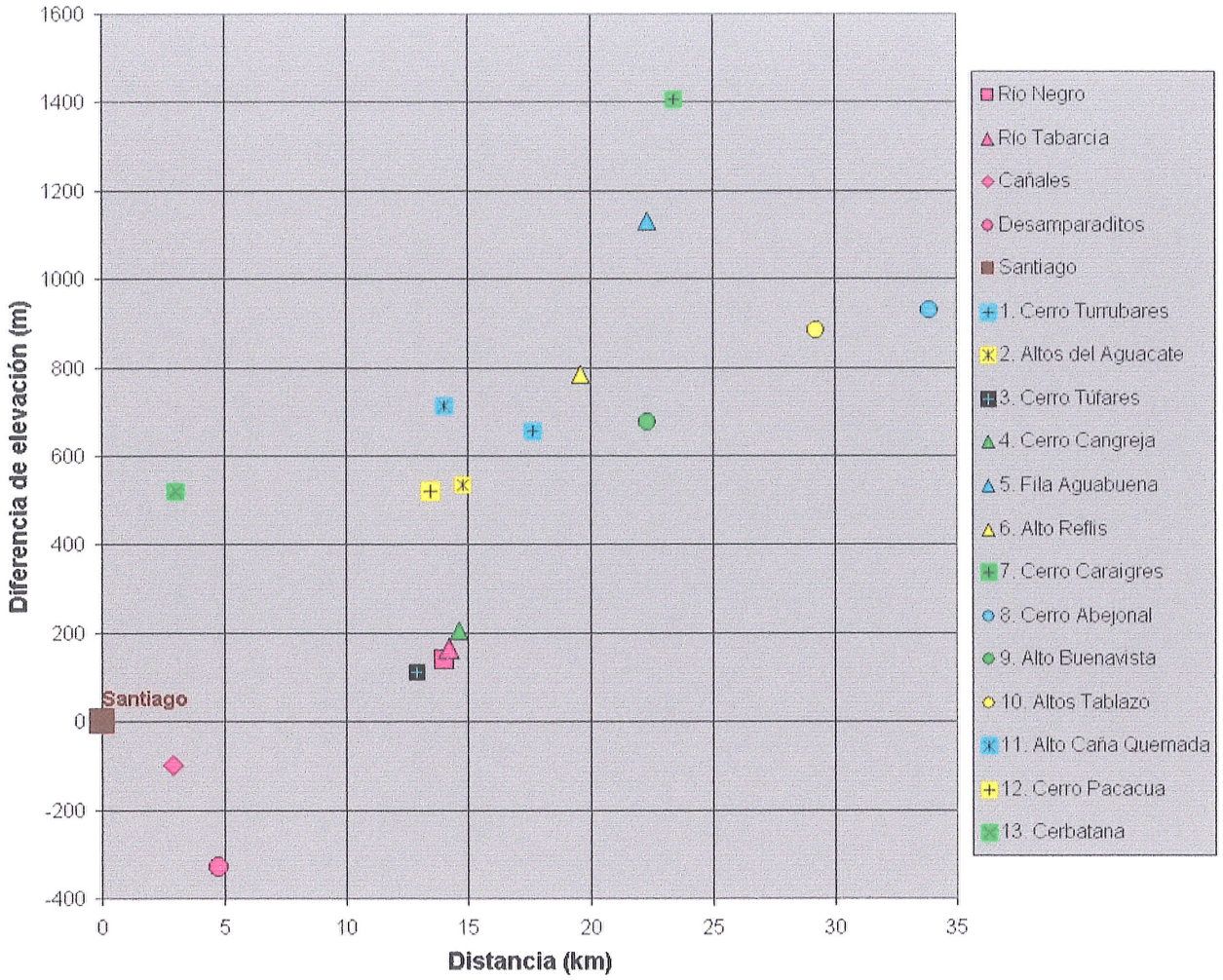


Fig. 5.9. Distancias de las fuentes tentativas a Santiago.

Las fuentes tentativas se proponen exclusivamente por su elevación y distancia a Santiago. No se conocen sus capacidades, tampoco sus características hidrológicas, ni de calidad. Esta información deberá generarse con estudios posteriores, ya que de ella depende la relación costo – beneficio de su explotación.

CAPÍTULO 6:

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

6.1 GENERALIDADES

En esta sección se detallan las estructuras que toman, conducen, tratan, impulsan y distribuyen las aguas del sistema de Santiago.

Parte del agua que se toma de los tres sistemas que alimentan la red, se destina a pueblos cercanos a las fuentes, o que circundan Santiago. Sin embargo, las características estos sistemas conexos trascienden los alcances del presente estudio.

El agua que no se consume en Santiago se incluye como demanda externa en la modelación de la red (ver capítulo 7).

Los datos que se detallan en este capítulo conforman, en su mayoría, el esfuerzo de varios trabajos anteriores sobre el Acueducto de Santiago. La verificación y ampliación de dicha información corresponden al autor.

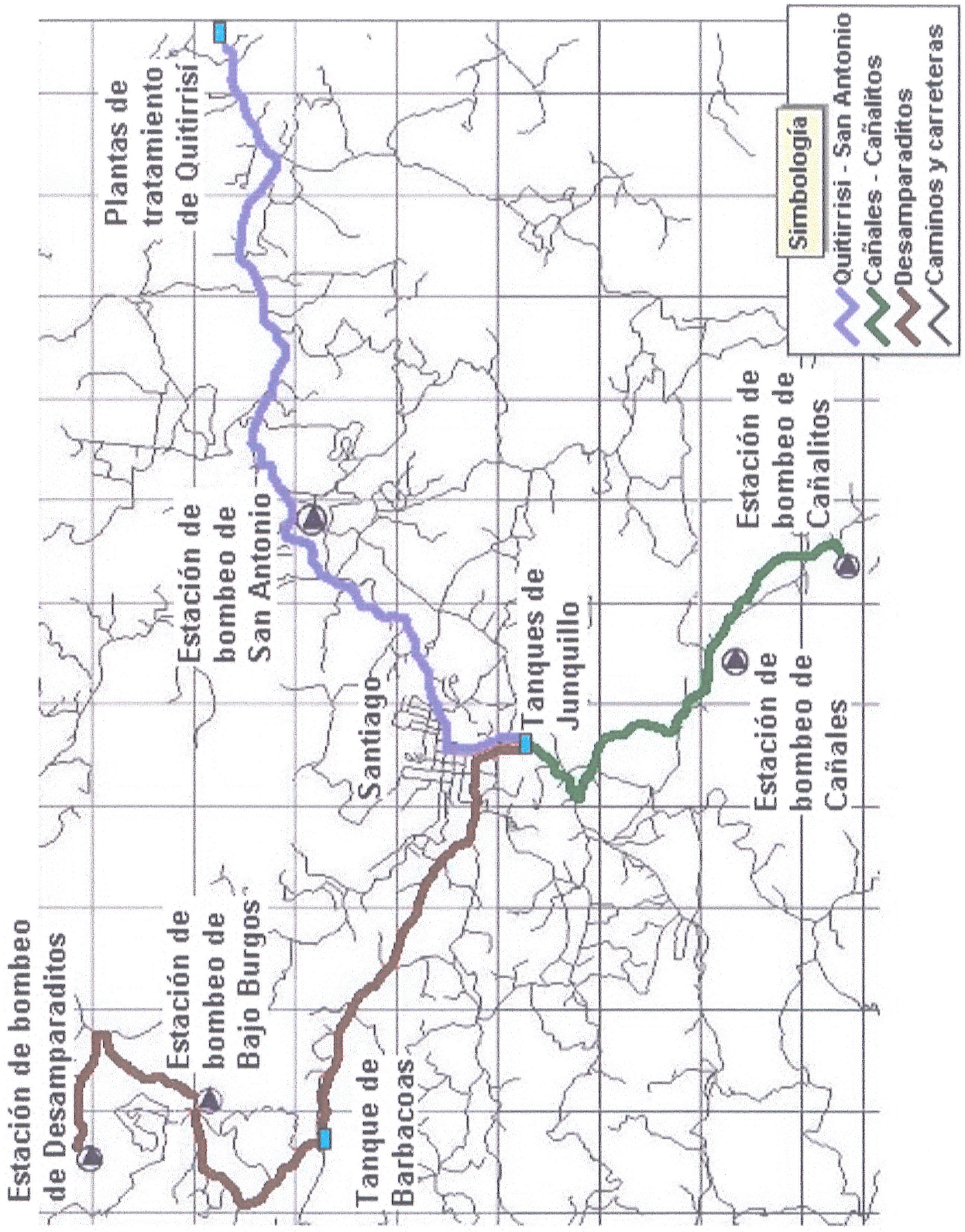


Figura 6.1. Esquema general de los sistemas de abastecimiento.
Tomado de Taller de Diseño I/2002.

6.2 FUENTES DE ABASTECIMIENTO

Tres sistemas independientes abastecen de agua a la ciudad de Santiago. Ellos son:

- Desamparaditos (5 nacientes).
- Cañales (naciente) y Cañalitos (naciente).
- Ríos Negro y Tabarcia.

6.2.1 Fuentes Sistema Desamparaditos

Se captan cinco nacientes al oeste del centro de Desamparaditos (elevación: 770 m.s.n.m.), y el rebalse del acueducto de esta población.

El proyecto, inicialmente agregaba 23 l/s al sistema Santiago, pero por disminución de las fuentes, su aporte se redujo a 18 l/s y finalmente a **15 l/s** en la actualidad.

Una vez captado, este caudal llega a la red de distribución de Santiago a través de las siguientes estructuras:

a. Estación de bombeo (en Desamparaditos).
b. Conducción forzada (impulsión).
c. Estación de bombeo (en Bajo Burgos).
d. Conducción forzada (impulsión).
e. Tanque de paso (en Barbacoas).
f. Conducción.
g. Tanque de concreto (en Junquillo).

6.2.2 Fuentes Sistema Cañales – Cañalitos

Este sistema consiste en dos fuentes captadas al sur de Santiago:

- Cañales:

  naciente con elevación 1000 m.s.n.m.; producción: **7.4 l/s.**

- Cañalitos:

  naciente con elevación 940 m.s.n.m.; producción: **3.5 l/s.**

Con las aguas tomadas, este sistema alimenta la red de distribución de Santiago, luego de pasar por las siguientes estructuras:

a. Estación de bombeo (en Cañalitos).
b. Conducción forzada.
c. Estación de bombeo (en Cañales): su tanque de succión recoge ambas aguas.
d. Conducción forzada.
e. Tanque de concreto (en Junquillo).

6.2.3 Fuentes Sistema Río Negro – Río Tabarcia

Conocido oficialmente como **Acueducto Regional de Puriscal y Mora**, este sistema fue construido en dos etapas.

6.2.3.1 Primera etapa (toma Río Tabarcia)

Comenzó a funcionar en mayo de 1992. Se ubica al este de Santiago, en la elevación: 1264 m.s.n.m. (ver figura 6.2).



Figura 6.2. Toma en el Río Tabarcia.

El agua se capta con una toma de fondo, diseñada para un caudal máximo diario de 50 l/s. Ésta consta básicamente de una rejilla

horizontal, sumergida por encima de una cámara de derivación (con las respectivas válvula de compuerta a la salida, prevista de rebose y válvula de limpieza de tipo mariposa, con manubrio). La salida conecta a tuberías y accesorios de H.D. de 200 mm de diámetro, clase 50 AWWA (presión de trabajo: 41.07 kg/cm^2).

Las tomas de fondo tienen la ventaja de estar siempre cubiertas por el agua, y no presentar obstáculo al paso de la corriente. Sin embargo, recogen mucha arena en la cámara de derivación y pueden obstruirse con los materiales que arrastre el río.

Antes de entrar a la red de distribución de Santiago, el agua captada pasa por las siguentes estructuras:

a. Conducción.
b. Desarenador.
c. Conducción.
d. Planta de tratamiento (en Quitirrisí).
e. Conducción.
f. Estación elevadora de presión o búster (en San Antonio).
g. Conducción forzada.
h. Tanque metálico (en Junquillo).

6.2.3.2 Segunda etapa (toma Río Negro)

Consiste en una toma adicional. La figura 6.3 muestra esta toma, que fue diseñada para captar 30 l/s del Río Negro. Se ubica en la elevación: 1242 m.s.n.m., y es similar a la del Río Tabarcia (I etapa).



Figura 6.3. Toma en el Río Negro.

En su trayecto hasta la red de distribución de Santiago, este caudal pasa por las siguientes estructuras:

a. Desarenador (junto a la toma).
b. Conducción.
c. Tanque quiebra gradiente (en Palmichal).
d. Conducción.

e. Planta de tratamiento (en Quitirrisí, junto a la otra planta).
f. Conducción (común para ambas etapas).
g. Estación elevadora de presión o búster (en San Antonio).
h. Conducción forzada.
i. Tanque metálico (en Junquillo).

Tanto el desarenador, como la toma, están junto a un camino secundario de lastre, sin restricción de acceso.

6.3 ESTRUCTURAS DE TRATAMIENTO

El agua de todas las fuentes aprovechadas en este acueducto se clora antes de llegar a los tanques de Junquillo.

Los sistemas Desamparaditos y Cañales – Cañalitos tienen sistemas de desinfección con cloro gaseoso en los tanques de succión.

Adicionalmente, el sistema Río Negro – Río Tabarcia cuenta con dos desarenadores y dos plantas de tratamiento.

6.3.1 Desarenador Río Tabarcia

Los materiales sólidos, típicos en ríos de montaña, se separan en este desarenador (ver figura 6.4) con capacidad para **50 l/s** y que se encuentra en la cota **1231 m.s.n.m.** Esta estructura es de concreto y consta básicamente de:

- Dispositivo de entrada.
- Canal de distribución.
- Tanque desarenador con depresión para limpieza y canal de recolección.
- Dispositivo de salida.

El desarenador está encerrado por una malla y se encuentra en el poblado de San Pablo, junto al camino de lastre que lleva a Palmichal.



Figura 6.4. Desarenador Río Tabarcia.

6.3.2 Desarenador Río Negro

Se ubica a 30 m de la toma, y la tubería de unión entre las estructuras es de H.D., con 150 mm de diámetro, clase 50 AWWA, con juntas tipo Tyton (push-on joint) y presión de trabajo de 47.55 kg/cm^2.

Las figuras 6.3 y 6.4 muestran el desarenador de Río Negro, el cual está en la cota **1239 m.s.n.m.** y tiene una capacidad de **30 l/s.**



Figura 6.5. Entrada de agua al desarenador de Río Negro.



Figura 6.6. Desarenador de Río Negro.

Como se puede apreciar en las figuras anteriores, este desarenador se encuentra fuera de operación actualmente (foto tomada 10-abril-2003).

6.3.3 Plantas de tratamiento de Quitirrisí

Éstas tienen la función de remover las partículas más finas y los patógenos en el agua de los ríos Tabarcia y Negro, para otorgarle características potables.

La primera planta, con una cota de **1093 m.s.n.m.** y diseñada para un caudal de **60 l/s** consta de (siguiendo el orden del flujo):

a. Sala de dosificación de reactivos.
b. Cámara de entrada y mezcla rápida.
c. 2 floculadores paralelos de flujo horizontal.
d. 4 filtros de medio doble, con tasa variable declinante y autolavado.
e. 3 sedimentadores de flujo ascendente.
f. Sala de cloración.
g. Cámara de salida.

Adicionalmente, cuenta con las siguientes instalaciones:

h. Casa de operaciones con bodega.
i. Laboratorio.
j. Caseta para equipo hidroneumático.
k. Accesorios de desvío (bypass) para filtración directa.
l. Sistema general de desagüe.
m. Parqueo, accesos y casa del operador.

La figura 6.7 muestra la distribución de la primera planta de tratamiento.

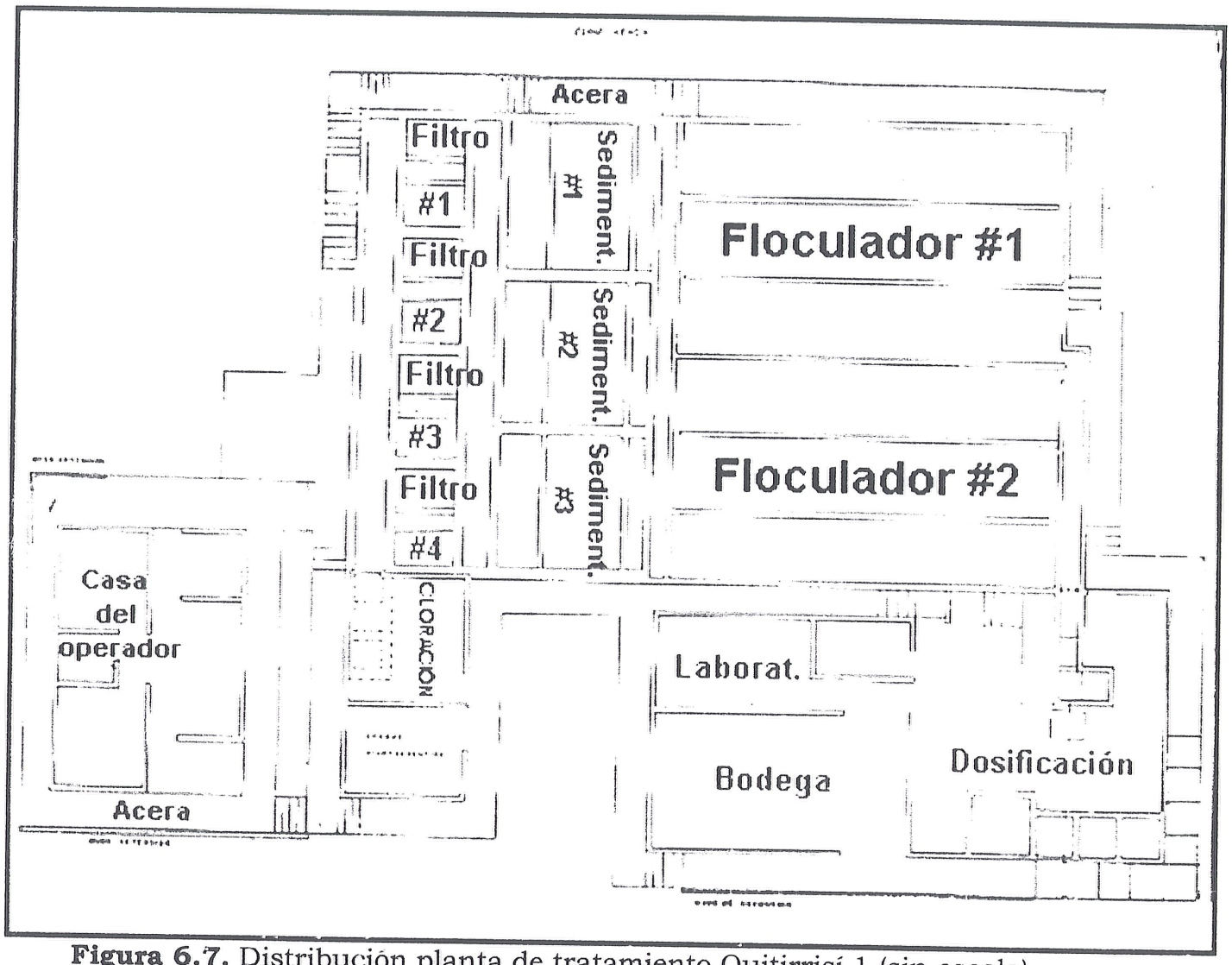


Figura 6.7. Distribución planta de tratamiento Quitirrisí 1 (sin escala). Tomada de la tesis de Dora Acuña, 1988.

En las mismas instalaciones se encuentra la **segunda planta de tratamiento**. Ésta es una versión a escala de la primera. Está en la cota **1092 m.s.n.m.** y tiene un tercio de la capacidad (**20 l/s**). Se construyó como parte de la segunda etapa del Acueducto Regional de Puriscal y Mora, para tratar las aguas captadas del Río Negro.

Sin embargo, esta segunda planta no está en operación.

6.4 ESTACIONES IMPULSORAS Y ELEVADORAS DE PRESIÓN

6.4.1 Impulsiones del Sistema Desamparaditos

El agua conducida desde las fuentes se bombea en la estación **Desamparaditos** (770 m.s.n.m.). La figura 6.8 muestra el interior de esta estación. El equipo incluye dos bombas con las siguientes características:

Tipo: turbina de eje vertical
Motor: 75 HP (eléctrico)
Lubricación: por agua
Velocidad de operación: entre 1800 y 3600 r.p.m.
Capacidad de diseño: 18 l/s, 225 m.c.a.

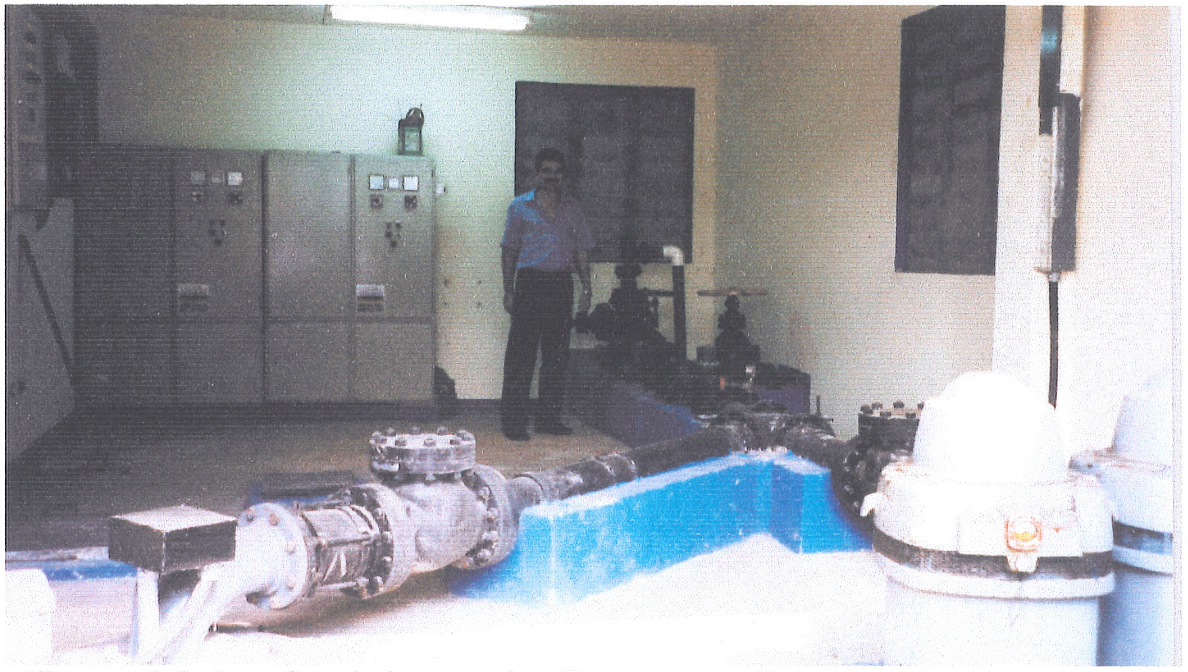


Figura 6.8. Interior de la estación Desamparaditos.

En esta estación hay además:

- Válvulas de alivio.
- Válvulas de aire.
- Manómetros.
- Medidor de caudal.
- Tableros de control para cada bomba.

Aunque las bombas podrían impulsar 18 l/s, su salida está regulada por una válvula para impulsar **15 l/s**. Esto obedece a limitaciones en el amperaje máximo de los motores y en la capacidad de las fuentes.

La estructura física ha sido afectada por los problemas sísmicos y de deslizamientos característicos de la zona de Puriscal.

La estación de **Bajo Burgos** (991 m.s.n.m) es idéntica a la anterior. Ésta recibe el agua proveniente de Desamparaditos y la impulsa hasta el tanque de paso de Barbacoas (concreto, 50 m^3, 1207 m.s.n.m.). La figura 6.9 muestra el exterior de esta estación.



Figura 6.9. Exterior de la estación Bajo Burgos.

6.4.2 Impulsiones del Sistema Cañales - Cañalitos

Una vez captada, el agua de **Cañalitos** se impulsa con dos bombas en la estación del mismo nombre (940 msnm):

Bomba 1

Tipo: centrífuga horizontal

Marca: Peerless

Modelo: 11/2TU7

Motor: Potencia: 20 HP

Entrada: 230 V, 60 Hz, 54 A

Velocidad: 3500 rpm

Capacidad: 6.0 l/s

Bomba 2

Tipo: centrífuga horizontal

Marca: Jacuzzi

Modelo: 10DL1-1/2TA

Motor: Potencia: 10 HP

Entrada: 230V, 60 Hz, 28 A

Velocidad: 3500 rpm

Capacidad: 3.5 l/s

Las cacheras de ambas bombas poseen:

- Válvula de compuerta y descarga.
- Válvula de retención.
- Manómetro.

La estación de **Cañales** fue trasladada el año pasado, debido al alto deterioro sufrido a causa de las condiciones sísmicas y geotécnicas de Puriscal.

Las nuevas instalaciones se encuentran en el lote adyacente (ver figura 6.10). Éstas juntan el agua de la fuente **Cañales** (1000 msnm) con la que reciben desde Cañalitos en un tanque de succión; donde se impulsan hacia el tanque de concreto en Junquillo.



Figura 6.10. Estación Cañales (nueva).

Esta estación se encuentra terminada y en funcionamiento normal. La figura 6.11 muestra las bombas durante la construcción de la estación. Cañales cuenta con el siguiente equipo:

2 bombas principales (para la estación lluviosa):

Marca: Gould
Tipo: RU
Fases: 4
SF: 1.15
Motor: Potencia: 75 HP
Entrada: 460 V, 60 Hz, 234/117 A
Velocidad: 3540 rpm
Capacidad: 10 l/s (158.5 GPM)
150 m.c.a. (492 TDH)

1 bomba secundaria (para la estación seca):

Marca: Gould
Tipo: AU
Fases: 3
SF: 1.15
Motor: Potencia: 40 HP
Entrada: 230/460 V, 60Hz, 95.6/47.8 A
Velocidad: 3505 rpm
Capacidad: 9.5 l/s (150 GPM)
213 m.c.a. (700 TDH)

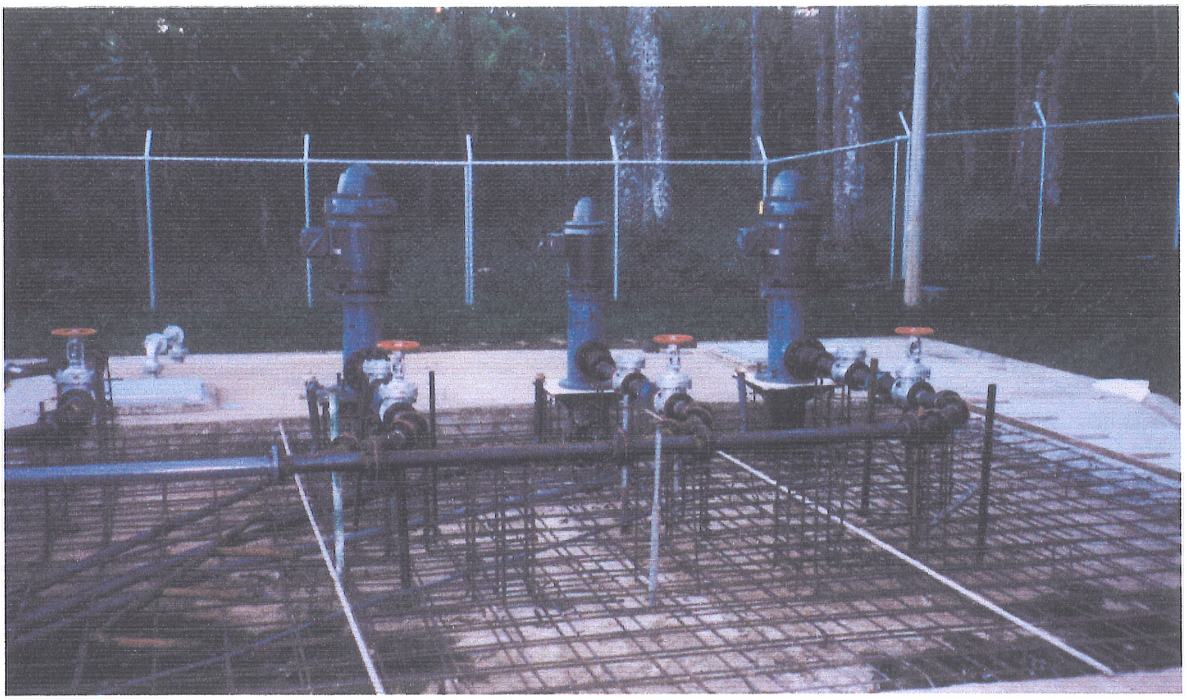


Figura 6.11. Bombas estación Cañales.

6.4.3 Impulsiones del Sistema Río Tabarcia – Río Negro

Las aguas procesadas por la Planta Quitirrisí 1 se conducen hasta la estación elevadora de presión (búster) de San Antonio (1043 m.s.n.m.), que las impulsa hasta el tanque metálico de Junquillo. La figura 6.12 muestra las instalaciones de esta estación, la cual consta de 2 bombas:

Bomba 1 (más antigua):

Marca: Peabody Floway
Type: RU
Fases: 3
SF: 1.15
Motor: Potencia: 100 HP
Entrada: 230/460 V, 60 Hz, 234/117 A
Velocidad: 3530 rpm
Capacidad: 40 l/s (634 GPM)
143 m.c.a. (469 TDH)

Bomba 2 (más nueva):

Marca: Gould
Type: VIC-T
Fases: 4
SF: 1.15
Motor: Potencia: 150 HP
Entrada: 460 V, 60 Hz, 160 A
Velocidad: 3560 rpm
Capacidad: 52 l/s (825 GPM)
160 m.c.a. (525 TDH)

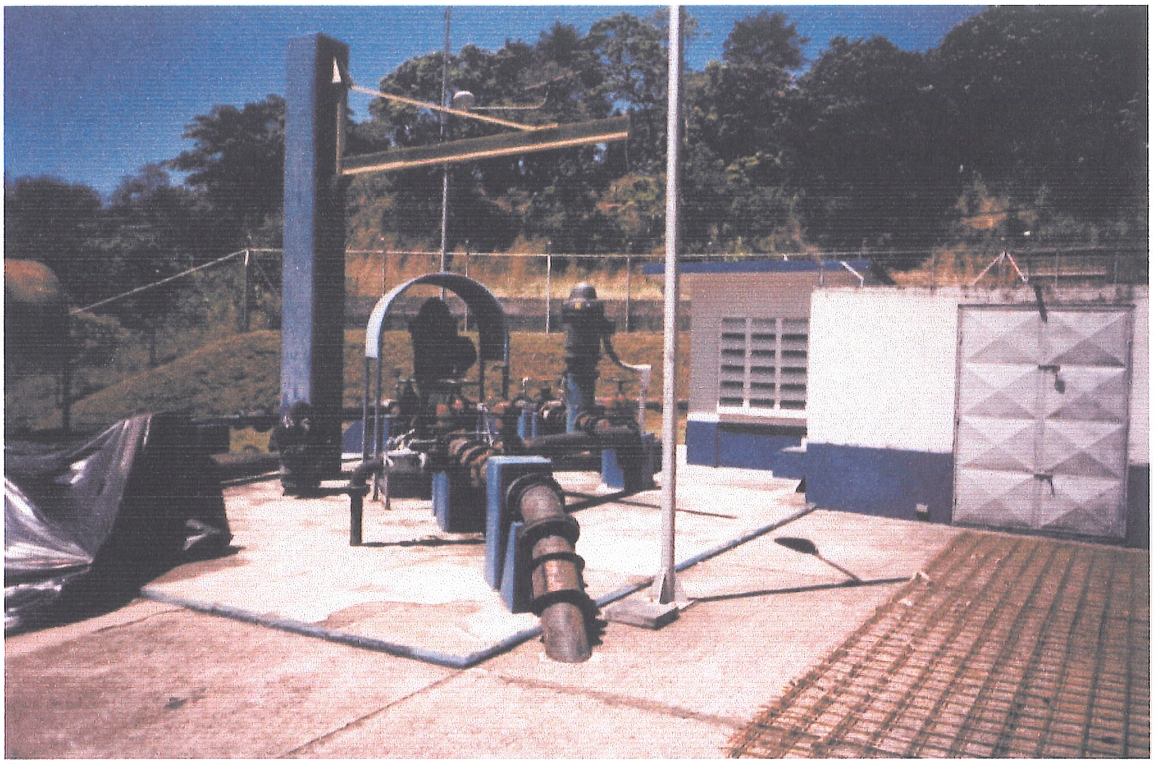


Figura 6.12. Búster de San Antonio.

Las cacheras de ambas bombas poseen:

- Válvula de compuerta.
- Válvula de retención.
- Válvula de alivio de presión
- Válvula de aire.
- Manómetro.

El búster tiene la capacidad de operar automáticamente, sin embargo se opera manualmente, pues no se han concluido las pruebas para poner en funcionamiento el equipo telemétrico. Además, a las bombas se les da mantenimiento preventivo.

La capacidad de la conducción que conecta desde la Planta Quitirrisí 2 fue aumentada recientemente con tubería paralela para poder accionar la bomba nueva (150 HP). Sin embargo, al momento sólo opera la bomba

antigua (100 HP). Para la entrada en operación de la bomba nueva se requiere solucionar los problemas en las fases que alimentan a la bomba y concluir las pruebas de telemetría antes mencionadas.

6.5 TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN

6.5.1 Conducciones del Sistema Desamparaditos

La figura 6.13 esquematiza el sistema Desamparaditos, las tablas 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 desglosan las características de sus tuberías de conducción.

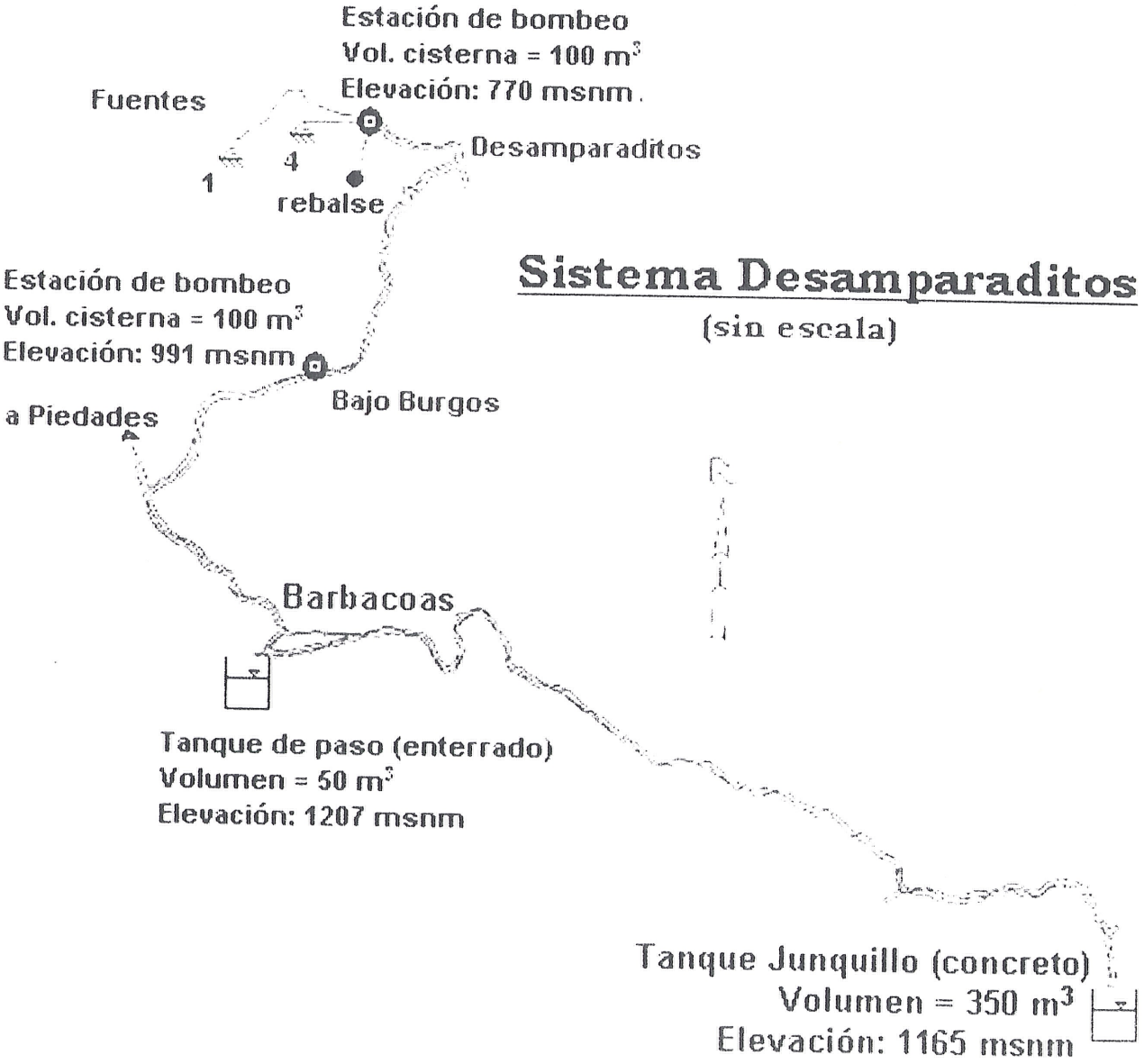


Figura 6.13. Sistema Desamparaditos.

Fuente: Tesis de graduación - Ing. Dora Acuña, 1988.

El **primer tramo** de este sistema lleva el agua por gravedad desde las fuentes de Desamparaditos hasta la estación de impulsión del mismo nombre (ver detalles en la tabla 6.1).

Tabla 6.1. Conducción Fuentes - Estación Desamparaditos

Diámetro *(mm)*	**Longitud** *(m)*	**Material**	**Estándar**
150	1302	PVC	SDR 17
100	100	PVC	SDR 17
63	176	PVC	SDR 17

Fuente: Tesis de graduación - Ing. Dora Acuña, 1988.

El **segundo tramo** lleva el agua a presión desde la estación Desamparaditos hasta el tanque de succión de la estación Bajo Burgos (ver detalles en la tabla 6.2).

Tabla 6.2. Conducción forzada Desamparaditos – Bajo Burgos

Diámetro *(mm)*	**Longitud** *(m)*	**Material**	**Estándar**
150	817	Hierro Dúctil	Clase 40
150	1155	Asbestocemento	-

Fuente: Taller de Diseño I/2002.

El **tercer tramo** transporta el agua impulsada en la estación Bajo Burgos hasta el tanque de paso de Barbacoas (ver detalles en la tabla 6.3).

Tabla 6.3. Conducción forzada Bajo Burgos – Tanque Barbacoas

Diámetro *(mm)*	**Longitud** *(m)*	**Material**	**Estándar**
150	980	Hierro Dúctil	Clase 40
150	1400	Asbestocemento	-

Fuente: Taller de Diseño I/2002.

El **último tramo** de este sistema lleva el agua desde el tanque de paso en Barbacoas hasta el tanque de concreto en Junquillo (ver detalles en la tabla 6.4).

Tabla 6.4. Conducción Tanque Barbacoas – Tanque Junquillo (concreto)

Diámetro *(mm)*	**Longitud** *(m)*	**Material**	**Estándar**
200	1247	PVC	SDR 26
200	1421	PVC	SDR 17
150	817	PVC	SDR 26
150	2190	PVC	SDR 17

Fuente: Taller de Diseño I/2002.

6.5.2 Conducciones del Sistema Cañales - Cañalitos

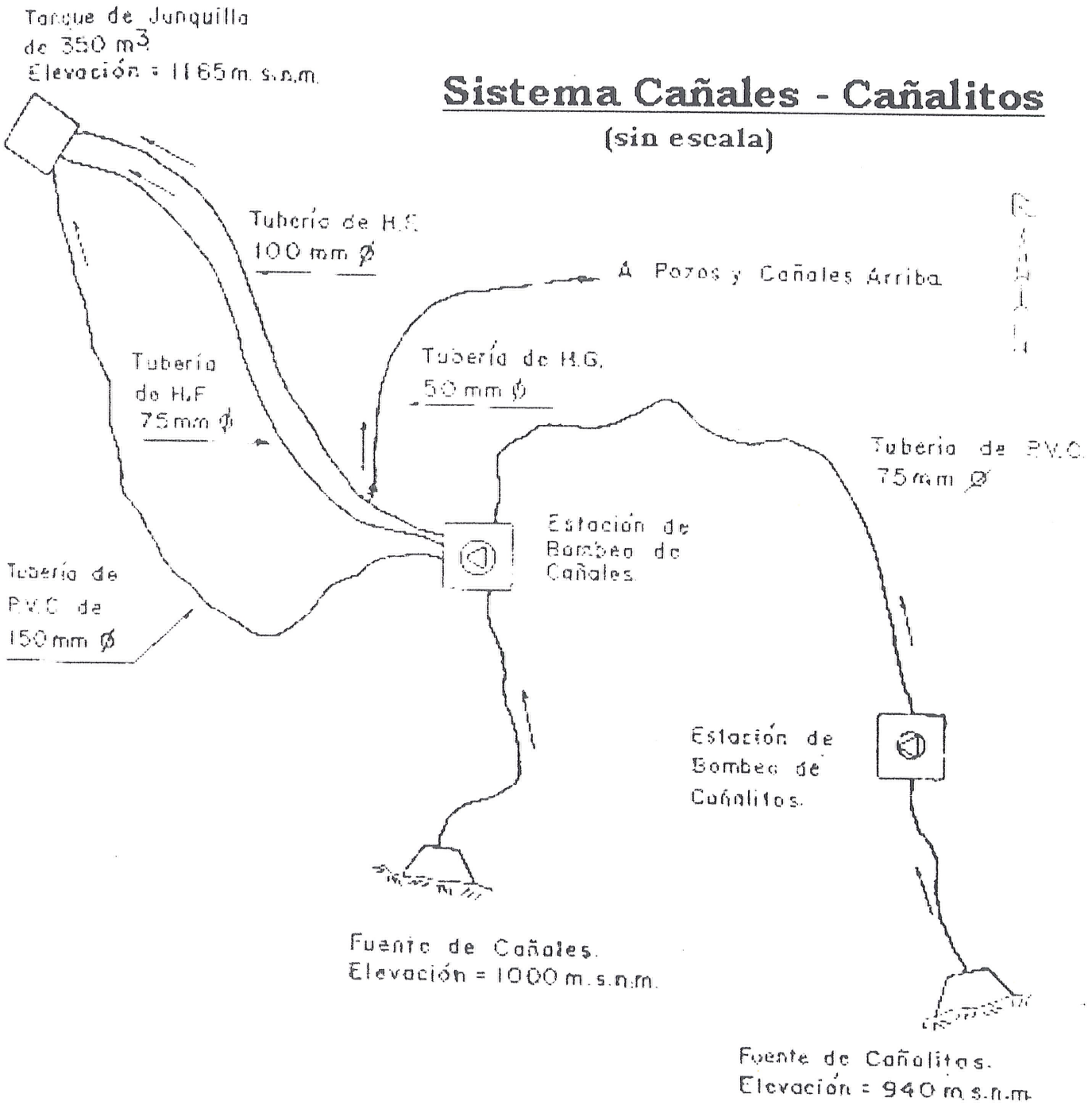


Figura 6.14. Esquema del sistema Cañales – Cañalitos

Fuente: Tesis de graduación - Ing. Dora Acuña, 1988

La figura 6.14 muestra la configuración del sistema Cañales – Cañalitos. Los detalles de la tubería de conducción se desglosan en la tabla 6.5.

Tabla 6.5. Conducciones Sistema Cañales – Cañalitos

Origen	**Destino**	**Diámetro** *(mm)*	**Longitud** *(m)*	**Material**	**Estándar**
Cañalitos	Cañales	75	800	PVC	-
Cañales	Tanque Junquillo (concreto)	150	2200	PVC	SDR 17
		75	2200	H.F.	-
		100	2200	H.G.	-

Fuente: Talleres de Diseño II/2001 y I/2002.

Como se indica en l figura 6.14, de la tubería de 100 mm sale un ramal que alimenta Pozos y Cañales Arriba (S de Santiago).

6.5.3 Conducciones del Sistema Tabarcia – Negro

El agua tomada de los ríos Tabarcia y Negro se conduce hasta la planta de tratamiento de Quitirrisí por gravedad. Las conducciones están construidas con tubería de PVC y H.D. de clases K9, K10 y K11, bajo normas ISO. El detalle de las conducciones se muestra en las tablas 6.6 y 6.7. La figura 6.15 muestra esquemáticamente todo el sistema.

Tabla 6.6. Conducciones Toma Río Tabarcia – Planta Quitirrisí 1

Origen	Destino	Diámetro *(mm)*	Longitud *(m)*	Material	Estándar
Toma Río Tabarcia	Desarenador Tabarcia	200	431	PVC	SDR 32.5
		150	140	PVC	SDR 26
		100	53	PVC	SDR 26
Desarenador Tabarcia	Planta Quitirrisí	250	360	H.D.	AWWA 50
		200	3568	H.D.	AWWA 50
		200	2865	H.D.	AWWA 51
		200	3390	H.D.	AWWA 52
Capacidad = 39.4 l/s					

Fuente: Acuña, D. (1988) y Planos Acued. Regional de Puriscal y Mora.

El tanque quiebragradiente por el que pasa la línea del Río Negro tiene 3 m^3 y está en la cota 1177.3 msnm.

Las capacidades de las conducciones se estimaron mediante la expresión de Hazen-Williams. Los cálculos se muestran en el anexo 15.

Desde las plantas, las aguas de ambos ríos se conducen por las mismas tuberías. El detalle de la tubería común se muestra en la tabla 6.8.

Tabla 6.7. Conducciones Toma Río Negro – Planta Quitirrisí 2

Origen	Destino	Diámetro *(mm)*	Longitud *(m)*	Material	Estándar
Toma Río Negro	Desarenador	150	30	H.D.	AWWA 50
Desarenador	Tanque quiebra-gradientes	200	397	PVC	SDR 32.5
		150	422	PVC	SDR 32.5
		100	393	PVC	SDR 26
Tanque quiebra-gradiente	Planta Quitirrisí 2	200	6898	H.D.	AWWA 50
		200	1880	H.D.	AWWA 51
		150	1740	H.D.	AWWA 50
Capacidad = 23.2 l/s					

Fuente: Planos Acueducto Regional de Puriscal y Mora.

Tabla 6.8. Conducción Plantas Quitirrisí – Tanque Junquillo (metálico)

Origen	Destino	Diámetro *(mm)*	Longitud *(m)*	Material	Observ.
Plantas Quitirrisí	Búster San Antonio	200 y 150	3565	H.D. y PVC	Paralelas
		200 y 150	1680	H.D. y PVC	Paralelas
		200	1119	H.D.	Una línea
Búster San Antonio	Tanque Junquillo (metálico)	250	3572	H.D.	AWWA 50
Capacidad = 53.4 l/s					

Fuente: Taller de Diseño II/2001 e Ileana Atan, 2001.

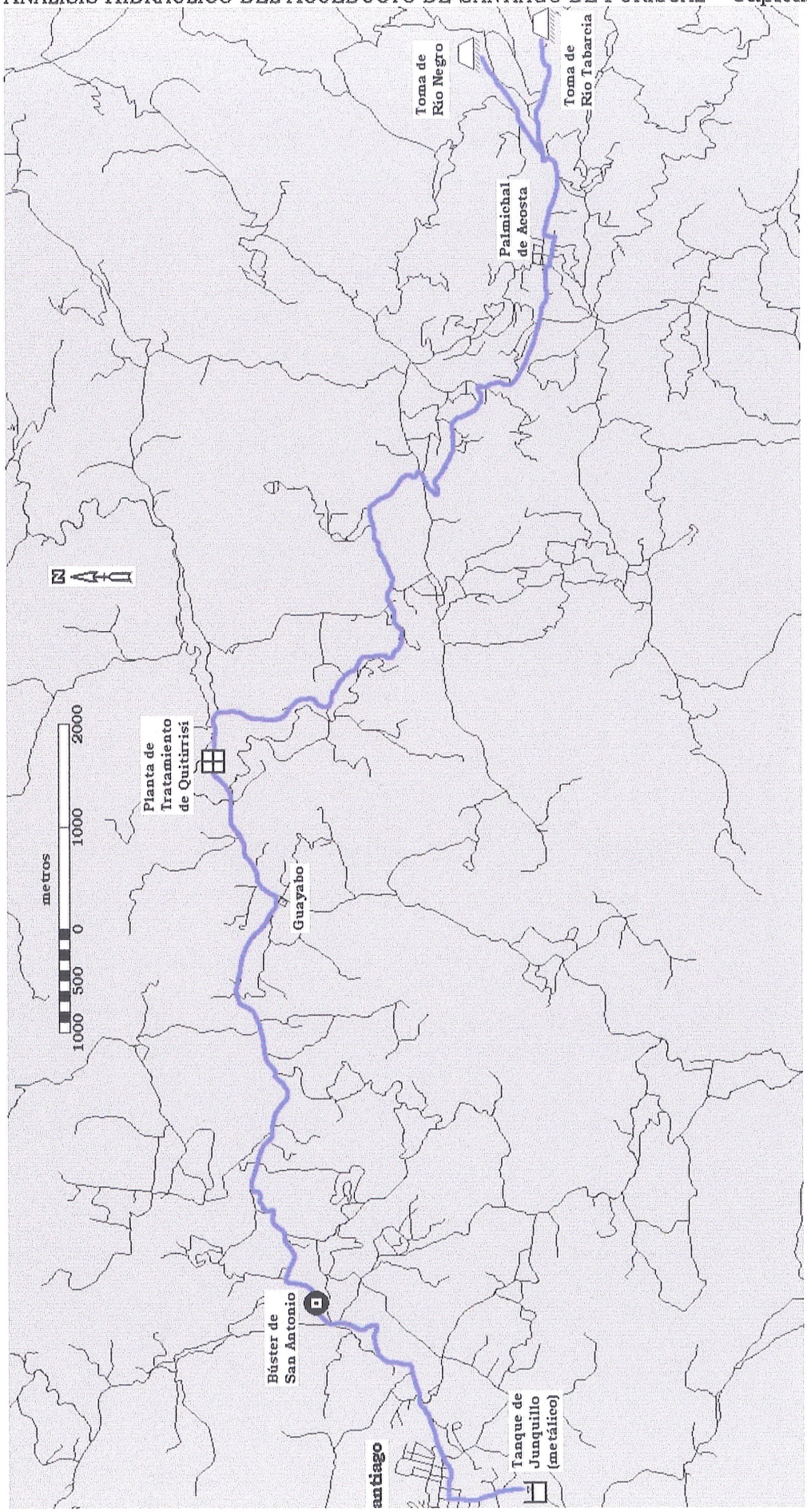


Figura 6.15. Esquema del sistema Tabarcia – Negro.

6.6 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

El agua que abastece a Santiago de Puriscal se deposita en dos tanques. El más antiguo, construido en concreto; y el más nuevo y de mayor capacidad, construido en metal.

Ambos tanques están ubicados en el sector sur de Santiago conocido como Junquillo, a una distancia menor a los 100 m uno del otro.

Dentro de la red existe un tercer tanque. Éste se halla en el **Bº Santa Cecilia** (hacia el este del casco urbano), en la cota **986 msnm**. El tanque es rectangular, enterrado, y a pesar de sus dimensiones (base: 5.0m x 2.5m, Vol.aprox.=50m^3), funciona como tanque quiebragradiente para este sector de baja elevación.

6.6.1 Tanque de concreto

Se encuentra en la cota **1162 m.s.n.m.**, y recibe las aguas de Desamparaditos, y Cañales - Cañalitos. Es un tanque asentado, rectangular, construido en concreto. Su capacidad es de **350 m³**.

La figura 6.16 muestra el tanque de concreto de Junquillo. La foto fue tomada desde el techo del tanque metálico.



Figura 6.16. Tanque de concreto (Junquillo).

Toda el agua que se consume en Santiago se abastece por gravedad desde este tanque a través de tres salidas:

a. Diámetro = 200 mm (PVC)
b. Diámetro = 125 mm (H.F.)
c. Diámetro = 100 mm (PVC)

Estas tres líneas se conectan a la red de Santiago en su parte este, sobre la calle que pasa detrás de la antigua Iglesia Católica.

Fuera de Santiago, este tanque alimenta, por gravedad, a los pueblos de Candelarita y La Polca. También impulsa agua al poblado de Cerbatana, mediante dos bombas horizontales de 12 HP y 5 HP, por una línea de 4 km de longitud y 100 mm de diámetro. En la figura 6.17 se pueden ver la mayor de estas bombas.

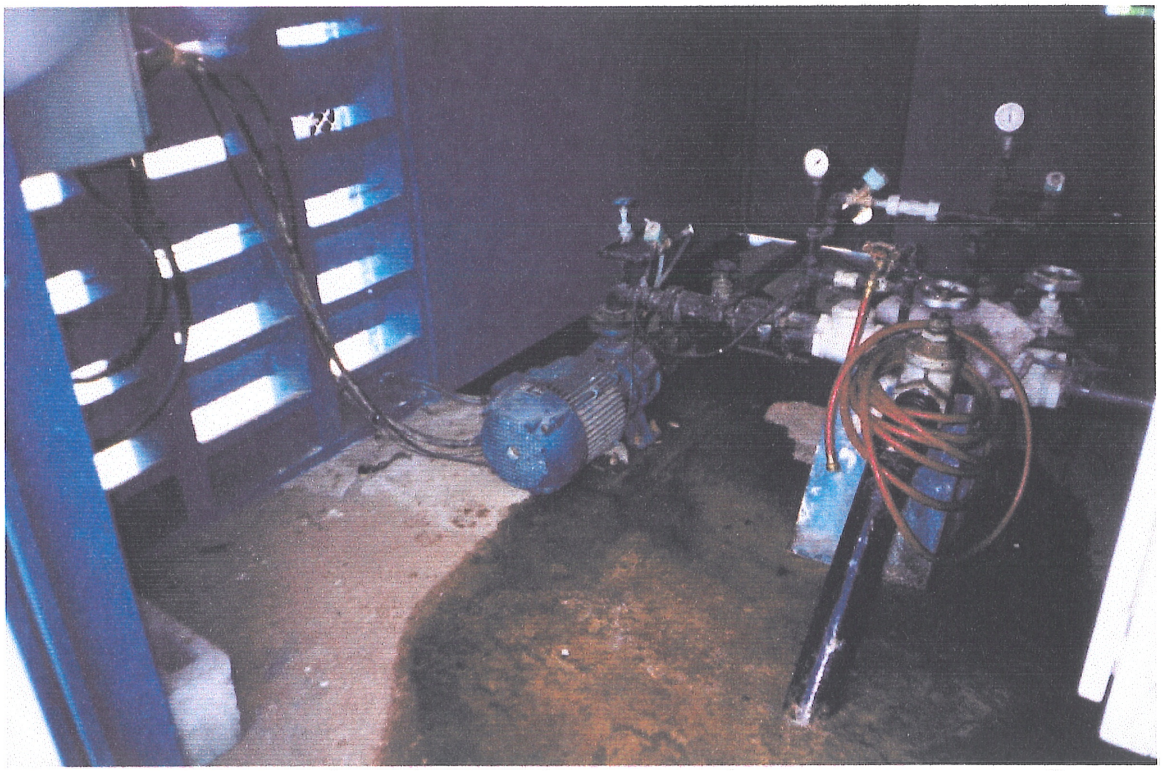


Figura 6.17. Bombas junto al tanque de concreto que alimentan Cerbatana.

6.6.2 Tanque metálico

Asentado en la elevación **1169 m.s.n.m**, y con capacidad de **850 m³**, este tanque metálico tiene forma cilíndrica, y aproximadamente 8 m de alto. La figura 6.18 muestra el tanque en cuestión.

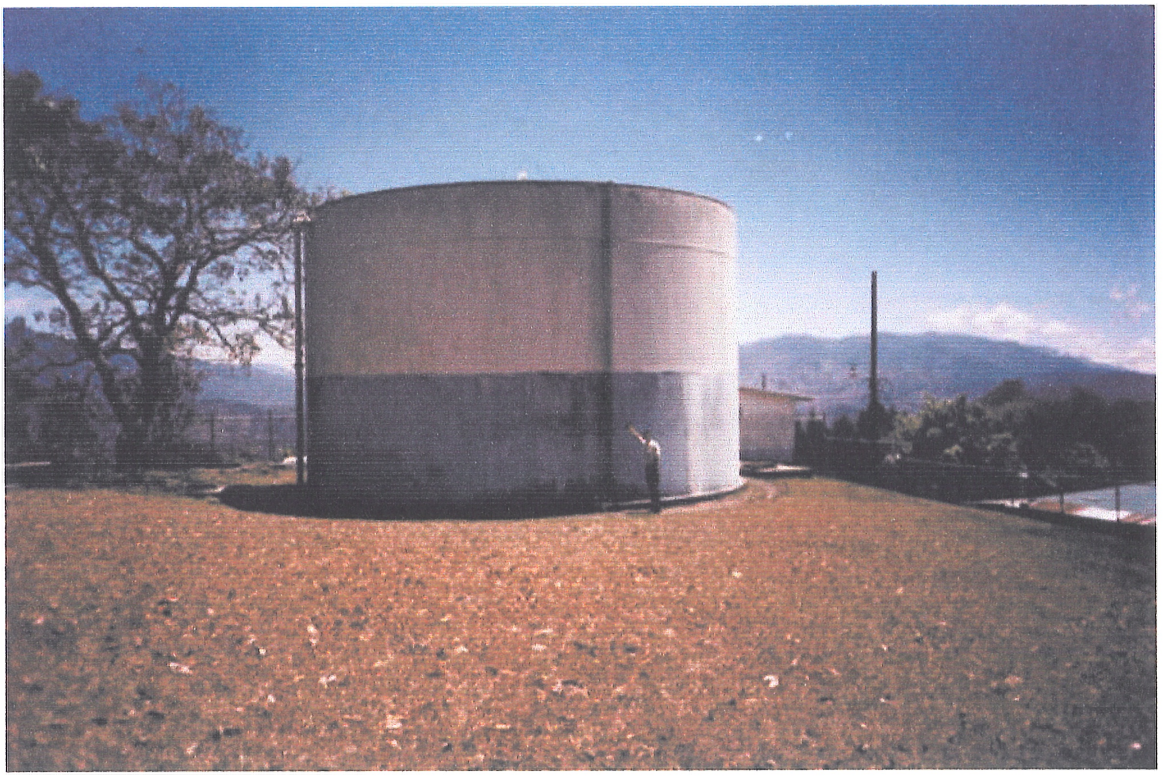


Figura 6.18. Tanque metálico (Junquillo).

Está provisto de válvulas, accesorios y tuberías de entrada, salida, rebose, limpieza, paso directo o "by-pass", ventilación, drenaje, indicador de nivel y caja de válvulas.

La tubería de entrada es de 250 mm en H.D. La de salida es de 200 mm en PVC, y lo conecta directamente al vecino tanque de concreto.

Esta tubería, sin embargo, tiene instalaciones de desvío (bypass) para poder conectar el tanque metálico a la red de Santiago y al bombeo a

Cerbatana (en caso de requerirlo); además tiene un ramal con 50 mm de diámetro, que abastece a las casas en las cercanías del tanque.

6.7 RED DE DISTRIBUCIÓN

La configuración de la red de distribución de Santiago se muestra en las figuras 6.19, 6.20 y 6.21. La tabla 6.9 desglosa las cantidades de tubería que conforman la red, clasificadas por material y diámetro.

Tabla 6.9. Composición de la red de distribución de Santiago.

Material	Diámetro	Longitud	
	(mm)	(m)	(%)
H.F.	75	872	3.8%
H.D.	100	30	0.1%
	150	197	0.9%
H.G.	25	1 400	6.1%
	37	1 183	5.2%
	50	1 743	7.6%
	60	136	0.6%
	75	874	3.8%
PVC	12	38	0.2%
	37	1 671	7.3%
	50	2 910	12.8%
	60	309	1.4%
	75	2 594	11.4%
	100	8 145	35.7%
	150	613	2.7%
	200	98	0.4%
TOTAL		**22 813**	**100.0%**

Fuente: Planos Optimización de Sistemas, AyA


N
Manzana 29
Manzana 27
Manzana 28
Futura urbanización
Previstos manzanas
Manzana 17
Manzana 2
Manzana 18
Manzana 16
Manzana 15
Manzana 14
Manzana 13
Manzana 12
Manzana 11
Manzana 10
Manzana 9
Manzana 8
Manzana 7
Manzana 6
Manzana 5
Manzana 4
Manzana 3
Manzana 44
Manzana 45
Manzana 43
Manzana 60
Manzana 61
Manzana 62
Manzana 63
Manzana 64
Manzana 65
Manzana 66
Manzana 67
Manzana 68
Manzana 69
Manzana 70
Manzana 71
Manzana 72
Manzana 73
Manzana 74
Manzana 75
Manzana 76
Manzana 77
Manzana 78
Manzana 79
Manzana 80
Manzana 81
Manzana 82
Manzana 83
Manzana 84
Manzana 85
Manzana 86
Manzana 87
Manzana 88
Manzana 89
Manzana 90
Manzana 91
Manzana 92
Manzana 93
Manzana 94
Manzana 95
Manzana 96
Manzana 97
Manzana 98
Manzana 99
Manzana 100
Manzana 101
Manzana 102
Manzana 103
Manzana 104
Manzana 105
Manzana 106
Manzana 107
Manzana 108
Manzana 109
Manzana 110
Manzana 111
Manzana 112
Manzana 113
Manzana 114
Manzana 115
Manzana 116
Manzana 117
Manzana 118
Manzana 119
Manzana 120
Manzana 121
Manzana 122
Manzana 123
Manzana 124
Manzana 125
Manzana 126
Manzana 127
Manzana 128
Manzana 129
Manzana 130
Manzana 131
Manzana 132
Manzana 133
Manzana 134
Manzana 135
Manzana 136
Manzana 137
Manzana 138
Manzana 139
Manzana 140
Manzana 141
Manzana 142
Manzana 143
Manzana 144
Manzana 145
Manzana 146
Manzana 147
Manzana 148
Manzana 149
Manzana 150
Manzana 151
Manzana 152
Manzana 153
Manzana 154
Manzana 155
Manzana 156
Manzana 157
Manzana 158
Manzana 159
Manzana 160
Manzana 161
Manzana 162
Manzana 163
Manzana 164
Manzana 165
Manzana 166
Manzana 167
Manzana 168
Manzana 169
Manzana 170
Manzana 171
Manzana 172
Manzana 173
Manzana 174
Manzana 175
Manzana 176
Manzana 177
Manzana 178
Manzana 179
Manzana 180
Manzana 181
Manzana 182
Manzana 183
Manzana 184
Manzana 185
Manzana 186
Manzana 187
Manzana 188
Manzana 189
Manzana 190
Manzana 191
Manzana 192
Manzana 193
Manzana 194
Manzana 195
Manzana 196
Manzana 197
Manzana 198
Manzana 199
Manzana 200
Manzana 201
Manzana 202
Manzana 203
Manzana 204
Manzana 205
Manzana 206
Manzana 207
Manzana 208
Manzana 209
Manzana 210
Manzana 211
Manzana 212
Manzana 213
Manzana 214
Manzana 215
Manzana 216
Manzana 217
Manzana 218
Manzana 219
Manzana 220
Manzana 221
Manzana 222
Manzana 223
Manzana 224
Manzana 225
Manzana 226
Manzana 227
Manzana 228
Manzana 229
Manzana 230
Manzana 231
Manzana 232
Manzana 233
Manzana 234
Manzana 235
Manzana 236
Manzana 237
Manzana 238
Manzana 239
Manzana 240
Manzana 241
Manzana 242
Manzana 243
Manzana 244
Manzana 245
Manzana 246
Manzana 247
Manzana 248
Manzana 249
Manzana 250
Manzana 251
Manzana 252
Manzana 253
Manzana 254
Manzana 255
Manzana 256
Manzana 257
Manzana 258
Manzana 259
Manzana 260
Manzana 261
Manzana 262
Manzana 263
Manzana 264
Manzana 265
Manzana 266
Manzana 267
Manzana 268
Manzana 269
Manzana 270
Manzana 271
Manzana 272
Manzana 273
Manzana 274
Manzana 275
Manzana 276
Manzana 277
Manzana 278
Manzana 279
Manzana 280
Manzana 281
Manzana 282
Manzana 283
Manzana 284
Manzana 285
Manzana 286
Manzana 287
Manzana 288
Manzana 289
Manzana 290
Manzana 291
Manzana 292
Manzana 293
Manzana 294
Manzana 295
Manzana 296
Manzana 297
Manzana 298
Manzana 299
Manzana 300
Manzana 301
Manzana 302
Manzana 303
Manzana 304
Manzana 305
Manzana 306
Manzana 307
Manzana 308
Manzana 309
Manzana 310
Manzana 311
Manzana 312
Manzana 313
Manzana 314
Manzana 315
Manzana 316
Manzana 317
Manzana 318
Manzana 319
Manzana 320
Manzana 321
Manzana 322
Manzana 323
Manzana 324
Manzana 325
Manzana 326
Manzana 327
Manzana 328
Manzana 329
Manzana 330
Manzana 331
Manzana 332
Manzana 333
Manzana 334
Manzana 335
Manzana 336
Manzana 337
Manzana 338
Manzana 339
Manzana 340
Manzana 341
Manzana 342
Manzana 343
Manzana 344
Manzana 345
Manzana 346
Manzana 347
Manzana 348
Manzana 349
Manzana 350
Manzana 351
Manzana 352
Manzana 353
Manzana 354
Manzana 355
Manzana 356
Manzana 357
Manzana 358
Manzana 359
Manzana 360
Manzana 361
Manzana 362
Manzana 363
Manzana 364
Manzana 365
Manzana 366
Manzana 367
Manzana 368
Manzana 369
Manzana 370
Manzana 371
Manzana 372
Manzana 373
Manzana 374
Manzana 375
Manzana 376
Manzana 377
Manzana 378
Manzana 379
Manzana 380
Manzana 381
Manzana 382
Manzana 383
Manzana 384
Manzana 385
Manzana 386
Manzana 387
Manzana 388
Manzana 389
Manzana 390
Manzana 391
Manzana 392
Manzana 393
Manzana 394
Manzana 395
Manzana 396
Manzana 397
Manzana 398
Manzana 399
Manzana 400
Manzana 401
Manzana 402
Manzana 403
Manzana 404
Manzana 405
Manzana 406
Manzana 407
Manzana 408
Manzana 409
Manzana 410
Manzana 411
Manzana 412
Manzana 413
Manzana 414
Manzana 415
Manzana 416
Manzana 417
Manzana 418
Manzana 419
Manzana 420
Manzana 421
Manzana 422
Manzana 423
Manzana 424
Manzana 425
Manzana 426
Manzana 427
Manzana 428
Manzana 429
Manzana 430
Manzana 431
Manzana 432
Manzana 433
Manzana 434
Manzana 435
Manzana 436
Manzana 437
Manzana 438
Manzana 439
Manzana 440
Manzana 441
Manzana 442
Manzana 443
Manzana 444
Manzana 445
Manzana 446
Manzana 447
Manzana 448
Manzana 449
Manzana 450
Manzana 451
Manzana 452
Manzana 453
Manzana 454
Manzana 455
Manzana 456
Manzana 457
Manzana 458
Manzana 459
Manzana 460
Manzana 461
Manzana 462
Manzana 463
Manzana 464
Manzana 465
Manzana 466
Manzana 467
Manzana 468
Manzana 469
Manzana 470
Manzana 471
Manzana 472
Manzana 473
Manzana 474
Manzana 475
Manzana 476
Manzana 477
Manzana 478
Manzana 479
Manzana 480
Manzana 481
Manzana 482
Manzana 483
Manzana 484
Manzana 485
Manzana 486
Manzana 487
Manzana 488
Manzana 489
Manzana 490
Manzana 491
Manzana 492
Manzana 493
Manzana 494
Manzana 495
Manzana 496
Manzana 497
Manzana 498
Manzana 499
Manzana 500
Manzana 501
Manzana 502
Manzana 503
Manzana 504
Manzana 505
Manzana 506
Manzana 507
Manzana 508
Manzana 509
Manzana 510
Manzana 511
Manzana 512
Manzana 513
Manzana 514
Manzana 515
Manzana 516
Manzana 517
Manzana 518
Manzana 519
Manzana 520
Manzana 521
Manzana 522
Manzana 523
Manzana 524
Manzana 525
Manzana 526
Manzana 527
Manzana 528
Manzana 529
Manzana 530
Manzana 531
Manzana 532
Manzana 533
Manzana 534
Manzana 535
Manzana 536
Manzana 537
Manzana 538
Manzana 539
Manzana 540
Manzana 541
Manzana 542
Manzana 543
Manzana 544
Manzana 545
Manzana 546
Manzana 547
Manzana 548
Manzana 549
Manzana 550
Manzana 551
Manzana 552
Manzana 553
Manzana 554
Manzana 555
Manzana 556
Manzana 557
Manzana 558
Manzana 559
Manzana 560
Manzana 561
Manzana 562
Manzana 563
Manzana 564
Manzana 565
Manzana 566
Manzana 567
Manzana 568
Manzana 569
Manzana 570
Manzana 571
Manzana 572
Manzana 573
Manzana 574
Manzana 575
Manzana 576
Manzana 577
Manzana 578
Manzana 579
Manzana 580
Manzana 581
Manzana 582
Manzana 583
Manzana 584
Manzana 585
Manzana 586
Manzana 587
Manzana 588
Manzana 589
Manzana 590
Manzana 591
Manzana 592
Manzana 593
Manzana 594
Manzana 595
Manzana 596
Manzana 597
Manzana 598
Manzana 599
Manzana 600
Manzana 601
Manzana 602
Manzana 603
Manzana 604
Manzana 605
Manzana 606
Manzana 607
Manzana 608
Manzana 609
Manzana 610
Manzana 611
Manzana 612
Manzana 613
Manzana 614
Manzana 615
Manzana 616
Manzana 617
Manzana 618
Manzana 619
Manzana 620
Manzana 621
Manzana 622
Manzana 623
Manzana 624
Manzana 625
Manzana 626
Manzana 627
Manzana 628
Manzana 629
Manzana 630
Manzana 631
Manzana 632
Manzana 633
Manzana 634
Manzana 635
Manzana 636
Manzana 637
Manzana 638
Manzana 639
Manzana 640
Manzana 641
Manzana 642
Manzana 643
Manzana 644
Manzana 645
Manzana 646
Manzana 647
Manzana 648
Manzana 649
Manzana 650
Manzana 651
Manzana 652
Manzana 653
Manzana 654
Manzana 655
Manzana 656
Manzana 657
Manzana 658
Manzana 659
Manzana 660
Manzana 661
Manzana 662
Manzana 663
Manzana 664
Manzana 665
Manzana 666
Manzana 667
Manzana 668
Manzana 669
Manzana 670
Manzana 671
Manzana 672
Manzana 673
Manzana 674
Manzana 675
Manzana 676
Manzana 677
Manzana 678
Manzana 679
Manzana 680
Manzana 681
Manzana 682
Manzana 683
Manzana 684
Manzana 685
Manzana 686
Manzana 687
Manzana 688
Manzana 689
Manzana 690
Manzana 691
Manzana 692
Manzana 693
Manzana 694
Manzana 695
Manzana 696
Manzana 697
Manzana 698
Manzana 699
Manzana 700
Manzana 701
Manzana 702
Manzana 703
Manzana 704
Manzana 705
Manzana 706
Manzana 707
Manzana 708
Manzana 709
Manzana 710
Manzana 711
Manzana 712
Manzana 713
Manzana 714
Manzana 715
Manzana 716
Manzana 717
Manzana 718
Manzana 719
Manzana 720
Manzana 721
Manzana 722
Manzana 723
Manzana 724
Manzana 725
Manzana 726
Manzana 727
Manzana 728
Manzana 729
Manzana 730
Manzana 731
Manzana 732
Manzana 733
Manzana 734
Manzana 735
Manzana 736
Manzana 737
Manzana 738
Manzana 739
Manzana 740
Manzana 741
Manzana 742
Manzana 743
Manzana 744
Manzana 745
Manzana 746
Manzana 747
Manzana 748
Manzana 749
Manzana 750
Manzana 751
Manzana 752
Manzana 753
Manzana 754
Manzana 755
Manzana 756
Manzana 757
Manzana 758
Manzana 759
Manzana 760
Manzana 761
Manzana 762
Manzana 763
Manzana 764
Manzana 765
Manzana 766
Manzana 767
Manzana 768
Manzana 769
Manzana 770
Manzana 771
Manzana 772
Manzana 773
Manzana 774
Manzana 775
Manzana 776
Manzana 777
Manzana 778
Manzana 779
Manzana 780
Manzana 781
Manzana 782
Manzana 783
Manzana 784
Manzana 785
Manzana 786
Manzana 787
Manzana 788
Manzana 789
Manzana 790
Manzana 791
Manzana 792
Manzana 793
Manzana 794
Manzana 795
Manzana 796
Manzana 797
Manzana 798
Manzana 799
Manzana 800
Manzana 801
Manzana 802
Manzana 803
Manzana 804
Manzana 805
Manzana 806
Manzana 807
Manzana 808
Manzana 809
Manzana 810
Manzana 811
Manzana 812
Manzana 813
Manzana 814
Manzana 815
Manzana 816
Manzana 817
Manzana 818
Manzana 819
Manzana 820
Manzana 821
Manzana 822
Manzana 823
Manzana 824
Manzana 825
Manzana 826
Manzana 827
Manzana 828
Manzana 829
Manzana 830
Manzana 831
Manzana 832
Manzana 833
Manzana 834
Manzana 835
Manzana 836
Manzana 837
Manzana 838
Manzana 839
Manzana 840
Manzana 841
Manzana 842
Manzana 843
Manzana 844
Manzana 845
Manzana 846
Manzana 847
Manzana 848
Manzana 849
Manzana 850
Manzana 851
Manzana 852
Manzana 853
Manzana 854
Manzana 855
Manzana 856
Manzana 857
Manzana 858
Manzana 859
Manzana 860
Manzana 861
Manzana 862
Manzana 863
Manzana 864
Manzana 865
Manzana 866
Manzana 867
Manzana 868
Manzana 869
Manzana 870
Manzana 871
Manzana 872
Manzana 873
Manzana 874
Manzana 875
Manzana 876
Manzana 877
Manzana 878
Manzana 879
Manzana 880
Manzana 881
Manzana 882
Manzana 883
Manzana 884
Manzana 885
Manzana 886
Manzana 887
Manzana 888
Manzana 889
Manzana 890
Manzana 891
Manzana 892
Manzana 893
Manzana 894
Manzana 895
Manzana 896
Manzana 897
Manzana 898
Manzana 899
Manzana 900
Manzana 901
Manzana 902
Manzana 903
Manzana 904
Manzana 905
Manzana 906
Manzana 907
Manzana 908
Manzana 909
Manzana 910
Manzana 911
Manzana 912
Manzana 913
Manzana 914
Manzana 915
Manzana 916
Manzana 917
Manzana 918
Manzana 919
Manzana 920
Manzana 921
Manzana 922
Manzana 923
Manzana 924
Manzana 925
Manzana 926
Manzana 927
Manzana 928
Manzana 929
Manzana 930
Manzana 931
Manzana 932
Manzana 933
Manzana 934
Manzana 935
Manzana 936
Manzana 937
Manzana 938
Manzana 939
Manzana 940
Manzana 941
Manzana 942
Manzana 943
Manzana 944
Manzana 945
Manzana 946
Manzana 947
Manzana 948
Manzana 949
Manzana 950
Manzana 951
Manzana 952
Manzana 953
Manzana 954
Manzana 955
Manzana 956
Manzana 957
Manzana 958
Manzana 959
Manzana 960
Manzana 961
Manzana 962
Manzana 963
Manzana 964
Manzana 965
Manzana 966
Manzana 967
Manzana 968
Manzana 969
Manzana 970
Manzana 971
Manzana 972
Manzana 973
Manzana 974
Manzana 975
Manzana 976
Manzana 977
Manzana 978
Manzana 979
Manzana 980
Manzana 981
Manzana 982
Manzana 983
Manzana 984
Manzana 985
Manzana 986
Manzana 987
Manzana 988
Manzana 989
Manzana 990
Manzana 991
Manzana 992
Manzana 993
Manzana 994
Manzana 995
Manzana 996
Manzana 997
Manzana 998
Manzana 999
Manzana 1000
Manzana 1001
Manzana 1002
Manzana 1003
Manzana 1004
Manzana 1005
Manzana 1006
Manzana 1007
Manzana 1008
Manzana 1009
Manzana 1010
Manzana 1011
Manzana 1012
Manzana 1013
Manzana 1014
Manzana 1015
Manzana 1016
Manzana 1017
Manzana 1018
Manzana 1019
Manzana 1020
Manzana 1021
Manzana 1022
Manzana 1023
Manzana 1024
Manzana 1025
Manzana 1026
Manzana 1027
Manzana 1028
Manzana 1029
Manzana 1030
Manzana 1031
Manzana 1032
Manzana 1033
Manzana 1034
Manzana 1035
Manzana 1036
Manzana 1037
Manzana 1038
Manzana 1039
Manzana 1040
Manzana 1041
Manzana 1042
Manzana 1043
Manzana 1044
Manzana 1045
Manzana 1046
Manzana 1047
Manzana 1048
Manzana 1049
Manzana 1050
Manzana 1051
Manzana 1052
Manzana 1053
Manzana 1054
Manzana 1055
Manzana 1056
Manzana 1057
Manzana 1058
Manzana 1059
Manzana 1060
Manzana 1061
Manzana 1062
Manzana 1063
Manzana 1064
Manzana 1065
Manzana 1066
Manzana 1067
Manzana 1068
Manzana 1069
Manzana 1070
Manzana 1071
Manzana 1072
Manzana 1073
Manzana 1074
Manzana 1075
Manzana 1076
Manzana 1077
Manzana 1078
Manzana 1079
Manzana 1080
Manzana 1081
Manzana 1082
Manzana 1083
Manzana 1084
Manzana 1085
Manzana 1086
Manzana 1087
Manzana 1088
Manzana 1089
Manzana 1090
Manzana 1091
Manzana 1092
Manzana 1093
Manzana 1094
Manzana 1095
Manzana 1096
Manzana 1097
Manzana 1098
Manzana 1099
Manzana 1100
Manzana 1101
Manzana 1102
Manzana 1103
Manzana 1104
Manzana 1105
Manzana 1106
Manzana 1107
Manzana 1108
Manzana 1109
Manzana 1110
Manzana 1111
Manzana 1112
Manzana 1113
Manzana 1114
Manzana 1115
Manzana 1116
Manzana 1117
Manzana 1118
Manzana 1119
Manzana 1120
Manzana 1121
Manzana 1122
Manzana 1123
Manzana 1124
Manzana 1125
Manzana 1126
Manzana 1127
Manzana 1128
Manzana 1129
Manzana 1130
Manzana 1131
Manzana 1132
Manzana 1133
Manzana 1134
Manzana 1135
Manzana 1136
Manzana 1137
Manzana 1138
Manzana 1139
Manzana 1140
Manzana 1141
Manzana 1142
Manzana 1143
Manzana 1144
Manzana 1145
Manzana 1146
Manzana 1147
Manzana 1148
Manzana 1149
Manzana 1150
Manzana 1151
Manzana 1152
Manzana 1153
Manzana 1154
Manzana 1155
Manzana 1156
Manzana 1157
Manzana 1158
Manzana 1159
Manzana 1160
Manzana 1161
Manzana 1162
Manzana 1163
Manzana 1164
Manzana 1165
Manzana 1166
Manzana 1167
Manzana 1168
Manzana 1169
Manzana 1170
Manzana 1171
Manzana 1172
Manzana 1173
Manzana 1174
Manzana 1175
Manzana 1176
Manzana 1177
Manzana 1178
Manzana 1179
Manzana 1180
Manzana 1181
Manzana 1182
Manzana 1183
Manzana 1184
Manzana 1185
Manzana 1186
Manzana 1187
Manzana 1188
Manzana 1189
Manzana 1190
Manzana 1191
Manzana 1192
Manzana 1193
Manzana 1194
Manzana 1195
Manzana 1196
Manzana 1197
Manzana 1198
Manzana 1199
Manzana 1200
Manzana 1201
Manzana 1202
Manzana 1203
Manzana 1204
Manzana 1205
Manzana 1206
Manzana 1207
Manzana 1208
Manzana 1209
Manzana 1210
Manzana 1211
Manzana 1212
Manzana 1213
Manzana 1214
Manzana 1215
Manzana 1216
Manzana 1217
Manzana 1218
Manzana 1219
Manzana 1220
Manzana 1221
Manzana 1222
Manzana 1223
Manzana 1224
Manzana 1225
Manzana 1226
Manzana 1227
Manzana 1228
Manzana 1229
Manzana 1230
Manzana 1231
Manzana 1232
Manzana 1233
Manzana 1234
Manzana 1235
Manzana 1236
Manzana 1237
Manzana 1238
Manzana 1239
Manzana 1240
Manzana 1241
Manzana 1242
Manzana 1243
Manzana 1244
Manzana 1245
Manzana 1246
Manzana 1247
Manzana 1248
Manzana 1249
Manzana 1250
Manzana 1251
Manzana 1252
Manzana 1253
Manzana 1254
Manzana 1255
Manzana 1256
Manzana 1257
Manzana 1258
Manzana 1259
Manzana 1260
Manzana 1261
Manzana 1262
Manzana 1263
Manzana 1264
Manzana 1265
Manzana 1266
Manzana 1267
Manzana 1268
Manzana 1269
Manzana 1270
Manzana 1271
Manzana 1272
Manzana 1273
Manzana 1274
Manzana 1275
Manzana 1276
Manzana 1277
Manzana 1278
Manzana 1279
Manzana 1280
Manzana 1281
Manzana 1282
Manzana 1283
Manzana 1284
Manzana 1285
Manzana 1286
Manzana 1287
Manzana 1288
Manzana 1289
Manzana 1290
Manzana 1291
Manzana 1292
Manzana 1293
Manzana 1294
Manzana 1295
Manzana 1296
Manzana 1297
Manzana 1298
Manzana 1299
Manzana 1300
Manzana 1301
Manzana 1302
Manzana 1303
Manzana 1304
Manzana 1305
Manzana 1306
Manzana 1307
Manzana 1308
Manzana 1309
Manzana 1310
Manzana 1311
Manzana 1312
Manzana 1313
Manzana 1314
Manzana 1315
Manzana 1316
Manzana 1317
Manzana 1318
Manzana 1319
Manzana 1320
Manzana 1321
Manzana 1322
Manzana 1323
Manzana 1324
Manzana 1325
Manzana 1326
Manzana 1327
Manzana 1328
Manzana 1329
Manzana 1330
Manzana 1331
Manzana 1332
Manzana 1333
Manzana 1334
Manzana 1335
Manzana 1336
Manzana 1337
Manzana 1338
Manzana 1339
Manzana 1340
Manzana 1341
Manzana 1342
Manzana 1343
Manzana 1344
Manzana 1345
Manzana 1346
Manzana 1347
Manzana 1348
Manzana 1349
Manzana 1350
Manzana 1351
Manzana 1352
Manzana 1353
Manzana 1354
Manzana 1355
Manzana 1356
Manzana 1357
Manzana 1358
Manzana 1359
Manzana 1360
Manzana 1361
Manzana 1362
Manzana 1363
Manzana 1364
Manzana 1365
Manzana 1366
Manzana 1367
Manzana 1368
Manzana 1369
Manzana 1370
Manzana 1371
Manzana 1372
Manzana 1373
Manzana 1374
Manzana 1375
Manzana 1376
Manzana 1377
Manzana 1378
Manzana 1379
Manzana 1380
Manzana 1381
Manzana 1382
Manzana 1383
Manzana 1384
Manzana 1385
Manzana 1386
Manzana 1387
Manzana 1388
Manzana 1389
Manzana 1390
Manzana 1391
Manzana 1392
Manzana 1393
Manzana 1394
Manzana 1395
Manzana 1396
Manzana 1397
Manzana 1398
Manzana 1399
Manzana 1400
Manzana 1401
Manzana 1402
Manzana 1403
Manzana 1404
Manzana 1405
Manzana 1406
Manzana 1407
Manzana 1408
Manzana 1409
Manzana 1410
Manzana 1411
Manzana 1412
Manzana 1413
Manzana 1414
Manzana 1415
Manzana 1416
Manzana 1417
Manzana 1418
Manzana 1419
Manzana 1420
Manzana 1421
Manzana 1422
Manzana 1423
Manzana 1424
Manzana 1425
Manzana 1426
Manzana 1427
Manzana 1428
Manzana 1429
Manzana 1430
Manzana 1431
Manzana 1432
Manzana 1433
Manzana 1434
Manzana 1435
Manzana 1436
Manzana 1437
Manzana 1438
Manzana 1439
Manzana 1440
Manzana 1441
Manzana 1442
Manzana 1443
Manzana 1444
Manzana 1445
Manzana 1446
Manzana 1447
Manzana 1448
Manzana 1449
Manzana 1450
Manzana 1451
Manzana 1452
Manzana 1453
Manzana 1454
Manzana 1455
Manzana 1456
Manzana 1457
Manzana 1458
Manzana 1459
Manzana 1460
Manzana 1461
Manzana 1462
Manzana 1463
Manzana 1464
Manzana 1465
Manzana 1466
Manzana 1467
Manzana 1468
Manzana 1469
Manzana 1470
Manzana 1471
Manzana 1472
Manzana 1473
Manzana 1474
Manzana 1475
Manzana 1476
Manzana 1477
Manzana 1478
Manzana 1479
Manzana 1480
Manzana 1481
Manzana 1482
Manzana 1483
Manzana 1484
Manzana 1485
Manzana 1486
Manzana 1487
Manzana 1488
Manzana 1489
Manzana 1490
Manzana 1491
Manzana 1492
Manzana 1493
Manzana 1494
Manzana 1495
Manzana 1496
Manzana 1497
Manzana 1498
Manzana 1499
Manzana 1500
Manzana 1501
Manzana 1502
Manzana 1503
Manzana 1504
Manzana 1505
Manzana 1506
Manzana 1507
Manzana 1508
Manzana 1509
Manzana 1510
Manzana 1511
Manzana 1512
Manzana 1513
Manzana 1514
Manzana 1515
Manzana 1516
Manzana 1517
Manzana 1518
Manzana 1519
Manzana 1520
Manzana 1521
Manzana 1522
Manzana 1523
Manzana 1524
Manzana 1525
Manzana 1526
Manzana 1527
Manzana 1528
Manzana 1529
Manzana 1530
Manzana 1531
Manzana 1532
Manzana 1533
Manzana 1534
Manzana 1535
Manzana 1536
Manzana 1537
Manzana 1538
Manzana 1539
Manzana 1540
Manzana 1541
Manzana 1542
Manzana 1543
Manzana 1544
Manzana 1545
Manzana 1546
Manzana 1547
Manzana 1548
Manzana 1549
Manzana 1550
Manzana 1551
Manzana 1552
Manzana 1553
Manzana 1554
Manzana 1555
Manzana 1556
Manzana 1557
Manzana 1558
Manzana 1559
Manzana 1560
Manzana 1561
Manzana 1562
Manzana 1563
Manzana 1564
Manzana 1565
Manzana 1566
Manzana 1567
Manzana 1568
Manzana 1569
Manzana 1570
Manzana 1571
Manzana 1572
Manzana 1573
Manzana 1574
Manzana 1575
Manzana 1576
Manzana 1577
Manzana 1578
Manzana 1579
Manzana 1580
Manzana 1581
Manzana 1582
Manzana 1583
Manzana 1584
Manzana 1585
Manzana 1586
Manzana 1587
Manzana 1588
Manzana 1589
Manzana 1590
Manzana 1591
Manzana 1592
Manzana 1593
Manzana 1594
Manzana 1595
Manzana 1596
Manzana 1597
Manzana 1598
Manzana 1599
Manzana 1600
Manzana 1601
Manzana 1602
Manzana 1603
Manzana 1604
Manzana 1605
Manzana 1606
Manzana 1607
Manzana 1608
Manzana 1609
Manzana 1610
Manzana 1611
Manzana 1612
Manzana 1613
Manzana 1614
Manzana 1615
Manzana 1616
Manzana 1617
Manzana 1618
Manzana 1619
Manzana 1620
Manzana 1621
Manzana 1622
Manzana 1623
Manzana 1624
Manzana 1625
Manzana 1626
Manzana 1627
Manzana 1628
Manzana 1629
Manzana 1630
Manzana 1631
Manzana 1632
Manzana 1633
Manzana 1634
Manzana 1635
Manzana 1636
Manzana 1637
Manzana 1638
Manzana 1639
Manzana 1640
Manzana 1641
Manzana 1642
Manzana 1643
Manzana 1644
Manzana 1645
Manzana 1646
Manzana 1647
Manzana 1648
Manzana 1649
Manzana 1650
Manzana 1651
Manzana 1652
Manzana 1653
Manzana 1654
Manzana 1655
Manzana 1656
Manzana 1657
Manzana 1658
Manzana 1659
Manzana 1660
Manzana 1661
Manzana 1662
Manzana 1663
Manzana 1664
Manzana 1665
Manzana 1666
Manzana 1667
Manzana 1668
Manzana 1669
Manzana 1670
Manzana 1671
Manzana 1672
Manzana 1673
Manzana 1674
Manzana 1675
Manzana 1676
Manzana 1677
Manzana 1678
Manzana 1679
Manzana 1680
Manzana 1681
Manzana 1682
Manzana 1683
Manzana 1684
Manzana 1685
Manzana 1686
Manzana 1687
Manzana 1688
Manzana 1689
Manzana 1690
Manzana 1691
Manzana 1692
Manzana 1693
Manzana 1694
Manzana 1695
Manzana 1696
Manzana 1697
Manzana 1698
Manzana 1699
Manzana 1700
Manzana 1701
Manzana 1702
Manzana 1703
Manzana 1704
Manzana 1705
Manzana 1706
Manzana 1707
Manzana 1708
Manzana 1709
Manzana 1710
Manzana 1711
Manzana 1712
Manzana 1713
Manzana 1714
Manzana 1715
Manzana 1716
Manzana 1717
Manzana 1718
Manzana 1719
Manzana 1720
Manzana 1721
Manzana 1722
Manzana 1723
Manzana 1724
Manzana 1725
Manzana 1726
Manzana 1727
Manzana 1728
Manzana 1729
Manzana 1730
Manzana 1731
Manzana 1732
Manzana 1733
Manzana 1734
Manzana 1735
Manzana 1736
Manzana 1737
Manzana 1738
Manzana 1739
Manzana 1740
Manzana 1741
Manzana 1742
Manzana 1743
Manzana 1744
Manzana 1745
Manzana 1746
Manzana 1747
Manzana 1748
Manzana 1749
Manzana 1750
Manzana 1751
Manzana 1752
Manzana 1753
Manzana 1754
Manzana 1755
Manzana 1756
Manzana 1757
Manzana 1758
Manzana 1759
Manzana 1760
Manzana 1761
Manzana 1762
Manzana 1763
Manzana 1764
Manzana 1765
Manzana 1766
Manzana 1767
Manzana 1768
Manzana 1769
Manzana 1770
Manzana 1771
Manzana 1772
Manzana 1773
Manzana 1774
Manzana 1775
Manzana 1776
Manzana 1777
Manzana 1778
Manzana 1779
Manzana 1780
Manzana 1781
Manzana 1782
Manzana 1783
Manzana 1784
Manzana 1785
Manzana 1786
Manzana 1787
Manzana 1788
Manzana 1789
Manzana 1790
Manzana 1791
Manzana 1792
Manzana 1793
Manzana 1794
Manzana 1795
Manzana 1796
Manzana 1797
Manzana 1798
Manzana 1799
Manzana 1800
Manzana 1801
Manzana 1802
Manzana 1803
Manzana 1804
Manzana 1805
Manzana 1806
Manzana 1807
Manzana 1808
Manzana 1809
Manzana 1810
Manzana 1811
Manzana 1812
Manzana 1813
Manzana 1814
Manzana 1815
Manzana 1816
Manzana 1817
Manzana 1818
Manzana 1819
Manzana 1820
Manzana 1821
Manzana 1822
Manzana 1823
Manzana 1824
Manzana 1825
Manzana 1826
Manzana 1827
Manzana 1828
Manzana 1829
Manzana 1830
Manzana 1831
Manzana 1832
Manzana 1833
Manzana 1834
Manzana 1835
Manzana 1836
Manzana 1837
Manzana 1838
Manzana 1839
Manzana 1840
Manzana 1841
Manzana 1842
Manzana 1843
Manzana 1844
Manzana 1845
Manzana 1846
Manzana 1847
Manzana 1848
Manzana 1849
Manzana 1850
Manzana 1851
Manzana 1852
Manzana 1853
Manzana 1854
Manzana 1855
Manzana 1856
Manzana 1857
Manzana 1858
Manzana 1859
Manzana 1860
Manzana 1861
Manzana 1862
Manzana 1863
Manzana 1864
Manzana 1865
Manzana 1866
Manzana 1867
Manzana 1868
Manzana 1869
Manzana 1870
Manzana 1871
Manzana 1872
Manzana 1873
Manzana 1874
Manzana 1875
Manzana 1876
Manzana 1877
Manzana 1878
Manzana 1879
Manzana 1880
Manzana 1881
Manzana 1882
Manzana 1883
Manzana 1884
Manzana 1885
Manzana 1886
Manzana 1887
Manzana 1888
Manzana 1889
Manzana 1890
Manzana 1891
Manzana 1892
Manzana 1893
Manzana 1894
Manzana 1895
Manzana 1896
Manzana 1897
Manzana 1898
Manzana 1899
Manzana 1900
Manzana 1901
Manzana 1902
Manzana 1903
Manzana 1904
Manzana 1905
Manzana 1906
Manzana 1907
Manzana 1908
Manzana 1909
Manzana 1910
Manzana 1911
Manzana 1912
Manzana 1913
Manzana 1914
Manzana 1915
Manzana 1916
Manzana 1917
Manzana 1918
Manzana 1919
Manzana 1920
Manzana 1921
Manzana 1922
Manzana 1923
Manzana 1924
Manzana 1925
Manzana 1926
Manzana 1927
Manzana 1928
Manzana 1929
Manzana 1930
Manzana 1931
Manzana 1932
Manzana 1933
Manzana 1934
Manzana 1935
Manzana 1936
Manzana 1937
Manzana 1938
Manzana 1939
Manzana 1940
Manzana 1941
Manzana 1942
Manzana 1943
Manzana 1944
Manzana 1945
Manzana 1946
Manzana 1947
Manzana 1948
Manzana 1949
Manzana 1950
Manzana 1951
Manzana 1952
Manzana 1953
Manzana 1954
Manzana 1955
Manzana 1956
Manzana 1957
Manzana 1958
Manzana 1959
Manzana 1960
Manzana 1961
Manzana 1962
Manzana 1963
Manzana 1964
Manzana 1965
Manzana 1966
Manzana 1967
Manzana 1968
Manzana 1969
Manzana 1970
Manzana 1971
Manzana 1972
Manzana 1973
Manzana 1974
Manzana 1975
Manzana 1976
Manzana 1977
Manzana 1978
Manzana 1979
Manzana 1980
Manzana 1981
Manzana 1982
Manzana 1983
Manzana 1984
Manzana 1985
Manzana 1986
Manzana 1987
Manzana 1988
Manzana 1989
Manzana 1990
Manzana 1991
Manzana 1992
Manzana 1993
Manzana 1994
Manzana 1995
Manzana 1996
Manzana 1997
Manzana 1998
Manzana 1999
Manzana 2000
Manzana 2001
Manzana 2002
Manzana 2003
Manzana 2004
Manzana 2005
Manzana 2006
Manzana 2007
Manzana 2008
Manzana 2009
Manzana 2010
Manzana 2011
Manzana 2012
Manzana 2013
Manzana 2014
Manzana 2015
Manzana 2016
Manzana 2017
Manzana 2018
Manzana 2019
Manzana 2020
Manzana 2021
Manzana 2022
Manzana 2023
Manzana 2024
Manzana 2025
Manzana 2026
Manzana 2027
Manzana 2028
Manzana 2029
Manzana 2030
Manzana 2031
Manzana 2032
Manzana 2033
Manzana 2034
Manzana 2035
Manzana 2036
Manzana 2037
Manzana 2038
Manzana 2039
Manzana 2040
Manzana 2041
Manzana 2042
Manzana 2043
Manzana 2044
Manzana 2045
Manzana 2046
Manzana 2047
Manzana 2048
Manzana 2049
Manzana 2050
Manzana 2051
Manzana 2052
Manzana 2053
Manzana 2054
Manzana 2055
Manzana 2056
Manzana 2057
Manzana 2058
Manzana 2059
Manzana 2060
Manzana 2061
Manzana 2062
Manzana 2063
Manzana 2064
Manzana 2065
Manzana 2066
Manzana 2067
Manzana 2068
Manzana 2069
Manzana 2070
Manzana 2071
Manzana 2072
Manzana 2073
Manzana 2074
Manzana 2075
Manzana 2076
Manzana 2077
Manzana 2078
Manzana 2079
Manzana 2080
Manzana 2081
Manzana 2082
Manzana 2083
Manzana 2084
Manzana 2085
Manzana 2086
Manzana 2087
Manzana 2088
Manzana 2089
Manzana 2090
Manzana 2091
Manzana 2092
Manzana 2093
Manzana 2094
Manzana 2095
Manzana 2096
Manzana 2097
Manzana 2098
Manzana 2099
Manzana 2100
Manzana 2101
Manzana 2102
Manzana 2103
Manzana 2104
Manzana 2105
Manzana 2106
Manzana 2107
Manzana 2108
Manzana 2109
Manzana 2110
Manzana 2111
Manzana 2112
Manzana 2113
Manzana 2114
Manzana 2115
Manzana 2116
Manzana 2117
Manzana 2118
Manzana 2119
Manzana 2120
Manzana 2121
Manzana 2122
Manzana 2123
Manzana 2124
Manzana 2125
Manzana 2126
Manzana 2127
Manzana 2128
Manzana 2129
Manzana 2130
Manzana 2131
Manzana 2132
Manzana 2133
Manzana 2134
Manzana 2135
Manzana 2136
Manzana 2137

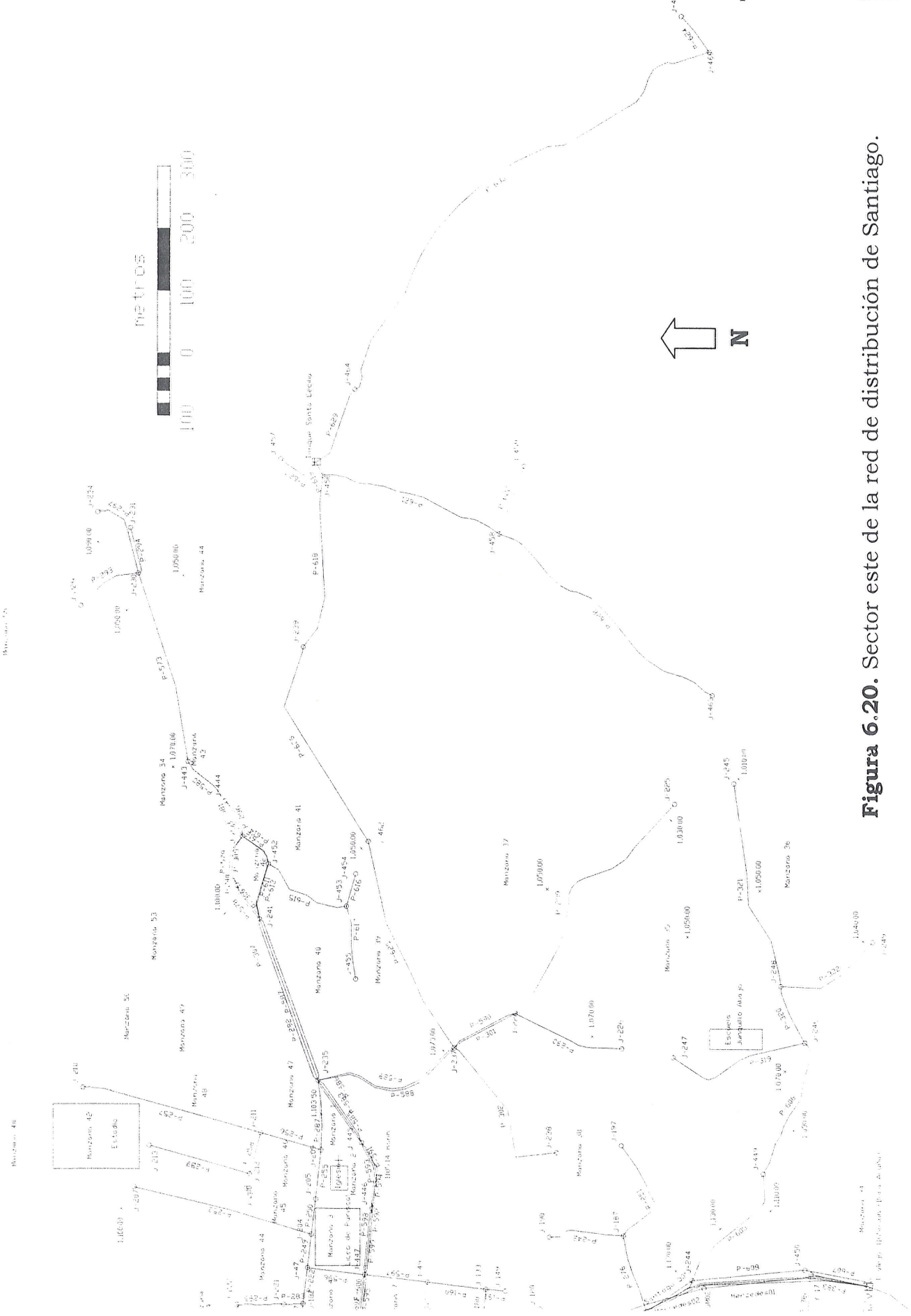


Figura 6.20. Sector este de la red de distribución de Santiago.

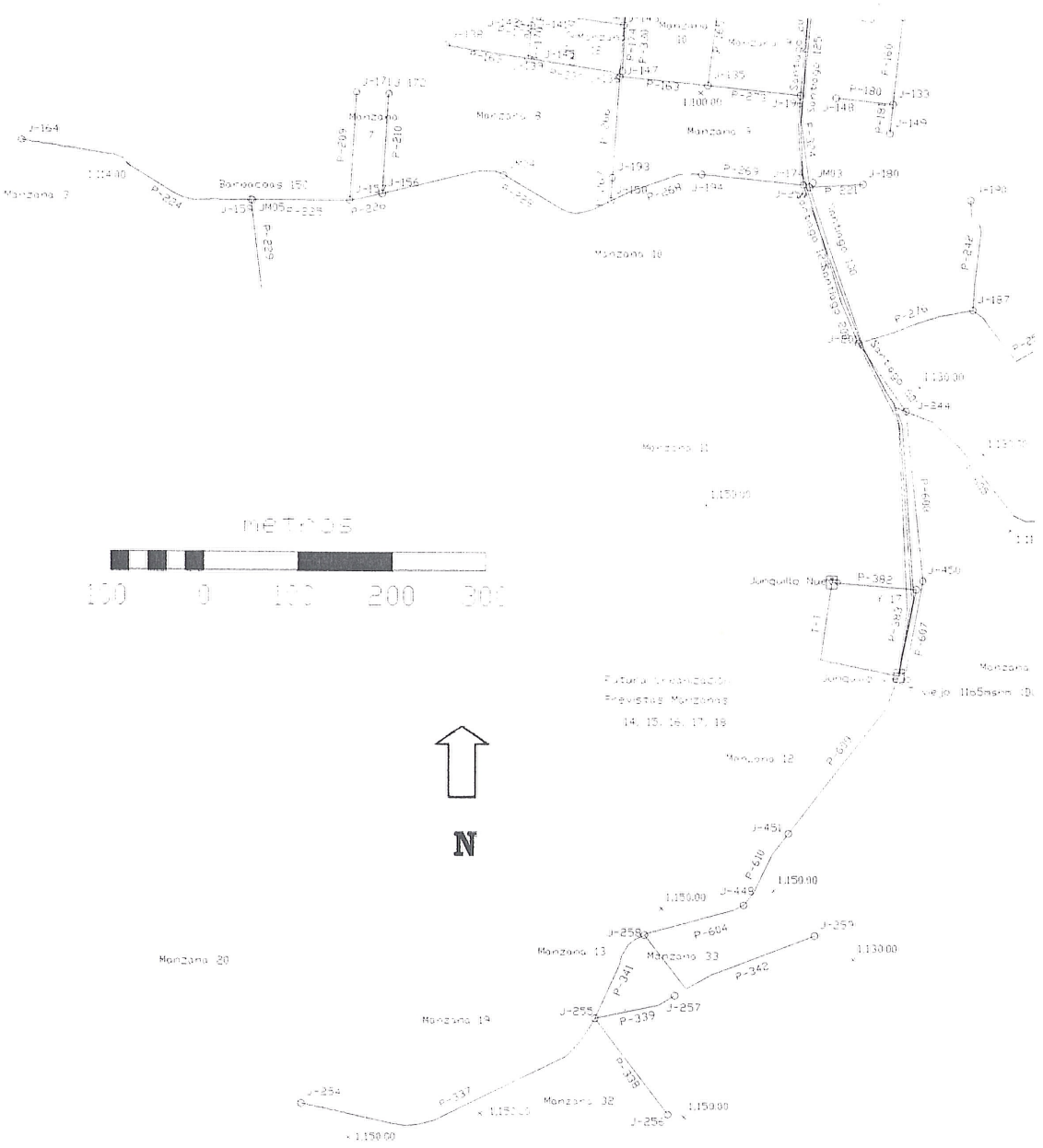


Figura 6.21. Sector sur de la red de distribución de Santiago.

6.7.1 Presiones en la red de distribución

Se realizaron mediciones de las presiones en campo. Éstas sirvieron además, para calibrar la red de Santiago; lo cual fue necesario para su posteriores modelaciones actual y futura (ver capítulo 7).

Se colocaron registradores de presión en 13 puntos diferentes de la red durante los días 29 de abril, 30 de abril y 01 de mayo de 2002. La ubicación de estos puntos de la red se muestra en la tabla 6.10.

Tabla 6.10. Puntos de la red donde se registró la presión.

Punto	Ubicación
1	B° Santa Lucía 500m W del punto 2 (casa de empleado de AyA)
2	400m W y 50m N del parque
3	Frente al cementerio
4	350m N de la esquina NW del parque
5	400m E y 100m N de la estación de bomberos
6	100m W y 50m N del mercado (frente a parada buses San José)
7	Frente al Centro de Salud de Puriscal
8	Frente a las estación de los bomberos
9	Mercedes Norte
10	Junquillo (25m W del tanque concreto)
11	Cañales (50m N de la calle de entrada a la estación de bombeo)
12	100m S del mercado (intersección con la calle que va al cementerio)
13	B° Santa Cecilia (300m S de la estación de los bomberos)

Fuente: el autor.

Los puntos tabulados arriba se muestran ubicados sobre la hoja Río Grande (IGN) en la figura 6.22. La figura 6.23 muestra gráficamente los valores de presión registrados para cada punto.

El registro del **punto 9** no es válido, pues no varió su valor durante los tres días. Esto se puede deber a una falla en el aparato registrador. El **punto 11** tampoco se estudia, pues lo alimenta otro sistema de distribución diferente al de nuestro interés.

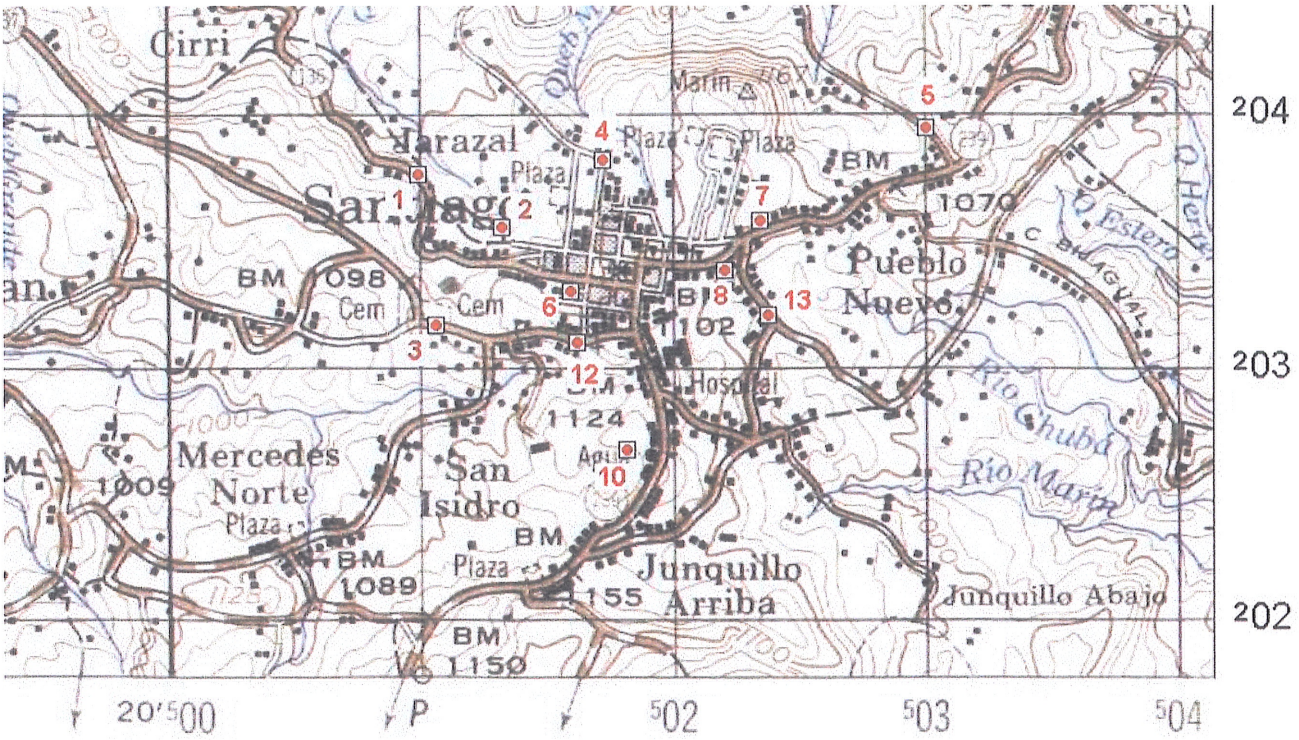


Figura 6.22. Ubicación de los puntos registrados.

Nótese que, en la figura 6.23, todos los puntos considerados obedecen un mismo patrón horario. Las presiones mínimas se presentan entre las 09:00 y las 12:00, y máximas alrededor de las 03:00.

Además, la mayoría de los puntos registrados muestran presiones que fluctúan dentro del rango permitido por la norma (15 m.c.a. < P < 75 m.c.a.). Sin embargo, las presiones de los puntos 1, 2, 5 y 13 están por encima de lo permisible.

En general, se puede destacar que toda la red es susceptible de presiones bajas, dadas las circunstancias. Prueba de esto son los bajos valores registrados durante la mañana del tercer día. Se puede suponer que los puntos 6, 7, 8 y 12 se quedaron sin agua durante este lapso. En el capítulo 7 se proponen medidas para corregir todas aquellas presiones dentro de la red de distribución incumplan la norma.

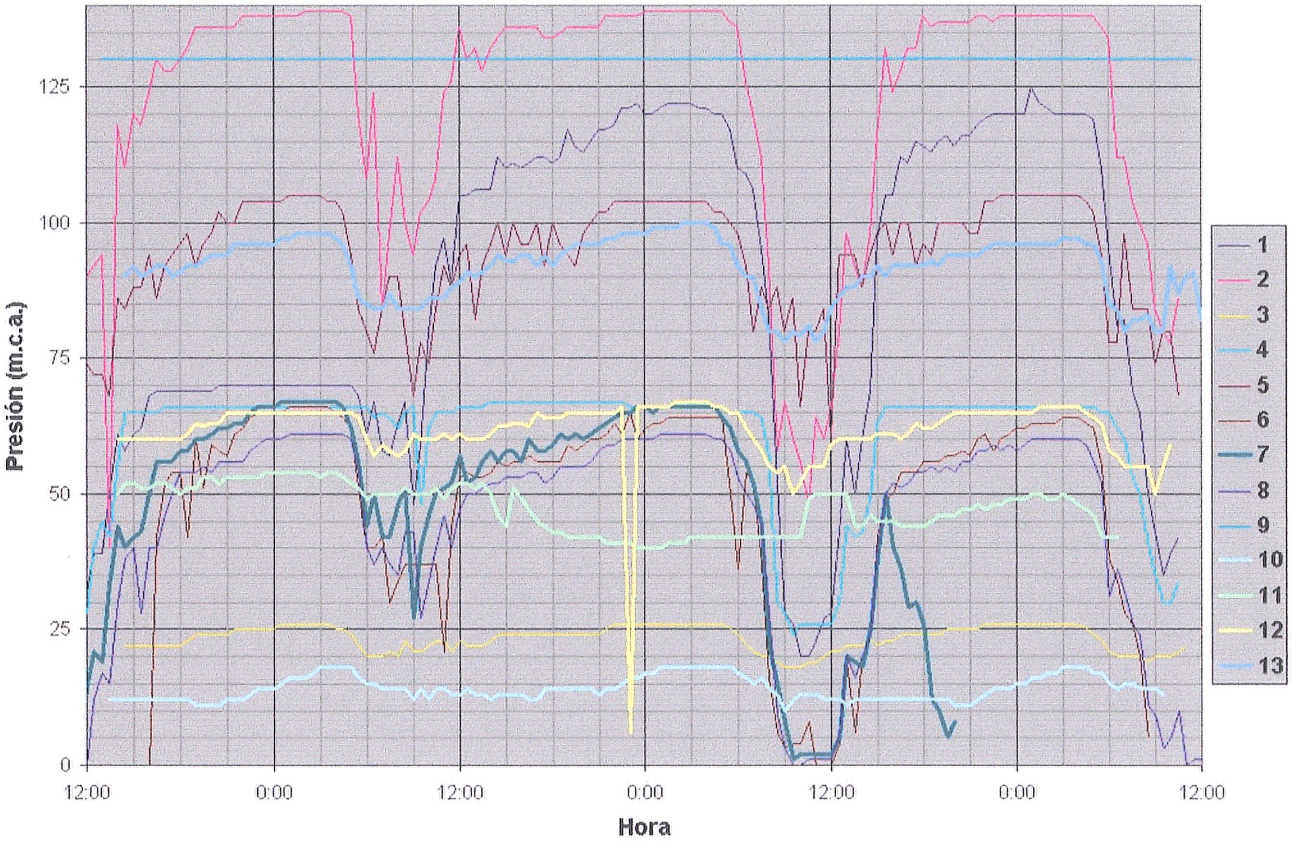


Figura 6.23. Registro de Presiones en la red de Santiago.

En general, el actual sistema de abastecimiento de agua potable de Santiago funciona aceptablemente. Su capacidad de producción y tratamiento supera las necesidades actuales. Tanto así, que el acueducto satisface la demanda aun con algunas estructuras importantes fuera de servicio (Planta de tratamiento Quitirrisí 2, Toma Río Negro, Desarenador Río Negro).

Como se indica en el capítulo 7, las deficiencias actuales del sistema radican en la distribución y el almacenamiento del agua. Por lo tanto, los esfuerzos necesarios para su mejoramiento apuntan a la regulación de las presiones extremas y al aumento de la capacidad de almacenamiento.

Capítulo 7:

ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SISTEMA ACTUAL Y FUTURO

7.1 GENERALIDADES

En este capítulo se desarrolló el análisis hidráulico del sistema de abastecimiento de Santiago. Se cuantificó el almacenamiento requerido por el sistema según la población servida y su patrón de consumo. Además, se realizó la modelación de la red de distribución en el programa WaterCAD (de Haestad).

El volumen requerido de almacenamiento depende del tamaño de la población servida y de sus costumbres para el uso del agua. Utilizando las proyecciones de población (capítulo 3) y el patrón de consumo (capítulo 4), se evaluó el almacenamiento necesario para las poblaciones actual y futura de Santiago, y se comparó con la capacidad disponible actualmente.

Por otro lado, el paquete de computación que se utilizó fue creado para el análisis de redes hidráulicas. Los datos requeridos por este paquete se obtuvieron de los planos existentes en el AyA (última actualización 1994), de informes sobre el sistema, mapas topográficos de la zona y visitas al campo. Fue necesario además generar registros de presión para algunos puntos de la red, con el fin de calibrar el modelo.

WaterCAD permite que las tuberías se dibujen a escala sobre un archivo de formato DXF. Esta información base se extrajo del Proyecto Terra, que contiene curvas de nivel cada 10 m.s.n.m., calles y carreteras

de todo el país. El Proyecto Terra, también conocido como Proyecto MINAE-RECOPE, fue contratado por estas dos instituciones estatales en 1992 y está disponible en el Departamento de Optimización de Sistemas del AyA.

Esta información geográfica en formato digital sirvió de guía para reproducir la configuración tridimensional de la red. Adicionalmente se utilizó un mapa topográfico del Departamento de Estudios Básicos del AyA. Éste contenía las elevaciones de algunos puntos en el centro de Santiago.

La labor de recopilación de datos sobre el acueducto está plasmada en los anexos 9, 10 y 15, en los cuales se detallan tabularmente las características de los nudos y tubos que forman la red de abastecimiento de Santiago.

Una vez introducidos los datos de la red en el programa, y calibrada con respecto a su comportamiento actual, se procedió a realizar el modelado de algunos cambios para mejorar su desempeño hidráulico. Este procedimiento se repitió para escenarios futuros, dónde las demandas de caudal crecen al mismo ritmo que la población, como se proyectó en el capítulo 4.

7.2 VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

El volumen almacenado en los tanques se guarda para suplir estos tres rubros:

a. Demandas pico durante el día.
b. Incendio (agua para combatirlo).
c. Interrupción de las fuentes (agua para compensarla).

La suma de los volúmenes necesarios para estas tres funciones equivale a la capacidad de almacenamiento requerida. En esta sección se consideraron tanto el requerimiento actual (2003), como el proyectado para el final del período de interés (2030).

7.2.1 Volumen de Demanda Horaria

Para determinar este volumen se utilizó el patrón de consumo de la población (mostrado en el capítulo 4) en su forma acumulada, o de curva masa (ver figura 7.1). Se supuso que las fuentes suplen el caudal promedio diario de forma constante.

Para efectos del cálculo del almacenamiento, del total de agua entregada por los tanques de Junquillo, se separó la que abastece directamente a Santiago de la que se deriva a tanques de las poblaciones aledañas. La tabla 7.1 muestra el detalle de estos consumos promedio en [l/s] y como volumen total diario.

Tabla 7.1. Desglose caudales promedio y volúmenes diarios de consumo.

Año	$Q_{promedio\ diario}$ (l/s)			Vol_{diario} (m^3)		
	Total	***Santiago***	***Derivaciones***	***Total***	***Santiago***	***Derivaciones***
2003	61.6	39.6	22.0	**5322**	**3421**	1901
2030	98.2	63.1	35.1	**8484**	**5452**	3033

Fuente: el autor.

La figura 7.1 muestra estos volúmenes acumulados de producción y demanda durante un día típico. Las diferencias máximas entre estas dos curvas determinan el volumen de almacenamiento necesario para suplir los picos de demanda durante el día.

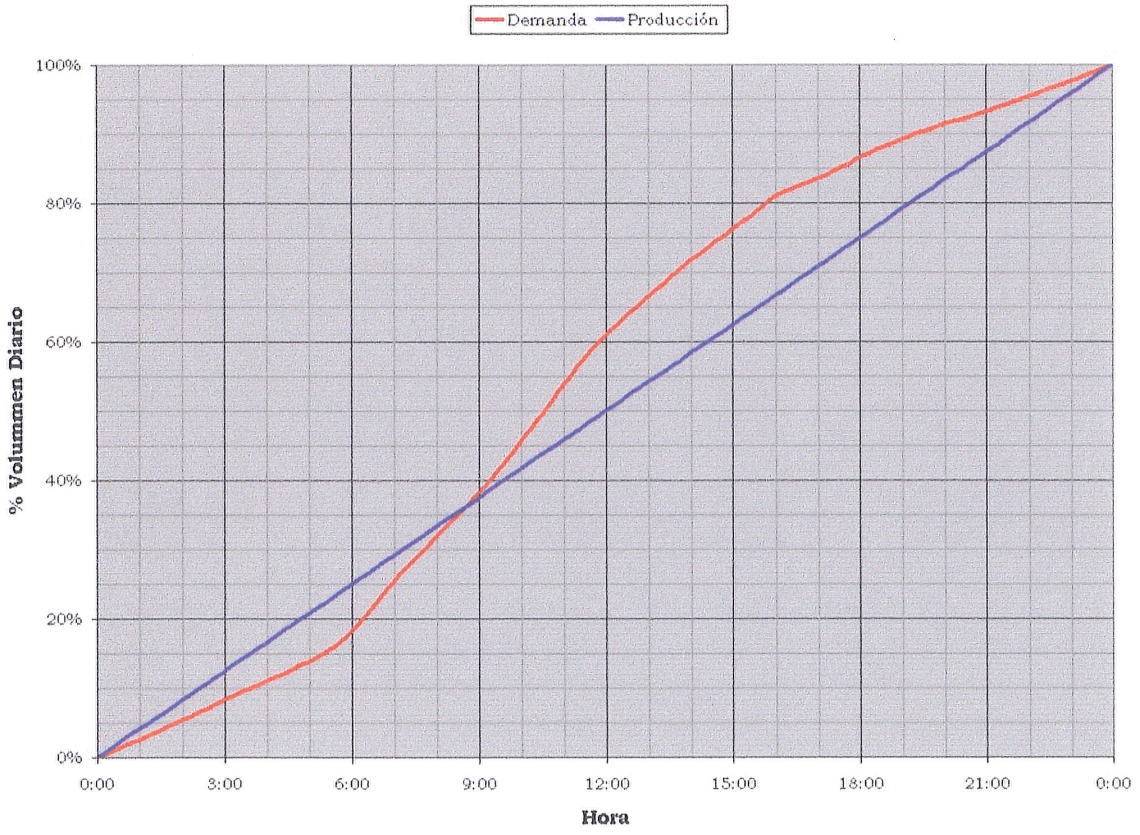


Figura 7.1. Curvas acumuladas de demanda horaria y producción.

La tabla 7.2 contiene las diferencias extremas entre las dos curvas acumuladas. La suma de los valores absolutos de estas diferencias corresponde al volumen para regulación de la demanda horaria.

Tabla 7.2. Cálculo del volumen para regulación horaria en **% Vol_{diario}.**

Pico	Hora	Demanda Acumulada	Producción Acumulada	Superávit	
Máximo	05:24	15.3 %	22.5 %	7.2 %	
Mínimo	16:00	80.9 %	66.7 %	-14.2 %	
				21.4 %	**Almacenamiento Requerido**

Fuente: el autor.

La tabla 7.3 muestra los volúmenes de regulación horaria para los años 2003 y 2030, obtenidos aplicando el **21.4%** de almacenamiento requerido al volumen diario respectivo (mostrado en la tabla 7.1).

Tabla 7.3. Almacenamiento requerido para regulación horaria.

Año	$Vol_{R.H.}$ (m^3)	
	Total	***Santiago***
2003	1140	**733**
2030	1817	**1168**

Fuente: el autor.

7.2.2 Volumen de Reserva para Incendios

La tabla 7.4 muestra los volúmenes mínimos requeridos para combatir incendios según el tamaño de la población servida.

Tabla 7.4. Almacenamiento requerido para incendios.

Población (hab.)	Q incendio (l/s)	t incendio (horas)	Vol. almacenamiento (m^3)
5 000	**8**	**3**	**86**
15 000	**16**	**3**	**173**
30 000	24	3	259
60 000	40	4	576
120 000	48	4	691
200 000	64	4	922
300 000			

Fuente: Normas de Diseño AyA.

Según las poblaciones calculadas en el capítulo 3, durante todo el período de estudio (2003 – 2030) la población **total** servida por el acueducto (incluyendo derivaciones a pueblos cercanos a Santiago) se encuentra en el segundo rango de la tabla 7.4 (15 000 - 30 000 hab). Por lo tanto, requieren como mínimo **173 m^3** de volumen de reserva para incendios.

Sin embargo, la población de **Santiago**, servida directamente del almacenamiento de Junquillo (alimentada por la red de distribución), no supera los 15 000 habitantes, por lo que requiere **86 m^3** para este mismo rubro.

7.2.3 Volumen de Reserva para Interrupciones

Para este efecto, se considera suficiente un volumen equivalente a 4 horas de consumo promedio diario, es decir, 1/6 del volumen diario (16.7%). El detalle se muestra en la tabla 7.5.

Tabla 7.5. Almacenamiento requerido para interrupciones.

Año	$Vol_{interrupciones}$ (m^3)	
	Total	***Santiago***
2003	887	**570**
2030	1414	**909**

Fuente: el autor.

La tabla 7.6 resume los almacenamientos requeridos, para compararlos con el volumen de almacenamiento disponible actualmente.

Tabla 7.6. Volúmenes de almacenamiento (m^3).

Año	2003	2030	2003	2030
	Total		***Santiago***	
Regulación horaria	1140	1817	733	1168
Incendios	173	173	86	86
Interrupciones	887	1414	570	909
TOTAL	2200	3404	**1389**	**2162**
Disponible 2003			1200	
Déficit			**189**	**962**

Fuente: el autor.

En la tabla 7.6 se calcularon los déficits de almacenamiento presente y futuro, para Santiago durante el período de estudio. El volumen disponible de almacenamiento sólo considera los dos tanques de Junquillo (descritos en el capítulo 6). No se contabilizaron los almacenamientos de las poblaciones alimentadas por derivaciones a tanques desde Junquillo.

La estimación del déficit global del acueducto requerirá de un inventario de todos los tanques alimentados por el almacenamiento de Junquillo (Cerbatana, Candelarita, La Polca, Pozos, Cañales, Santa Cecilia, etc.).

Nótese que la deficiencia de almacenamiento de Santiago aún no se hace obvia para condiciones normales de funcionamiento, pues los tanques de Junquillo tienen la capacidad de cubrir las variaciones horarias, mas no otras eventualidades (incendios e interrupciones).

7.3 RED DE DISTRIBUCIÓN

El análisis hidráulico de la red de distribución se realizó con la ayuda del programa WaterCAD. Se eligió la expresión de Hazen-Williams para estimación de pérdidas por fricción, con la cual el programa balancea iterativamente los anillos y ramales de la red (método Hardy-Cross).

Los datos de entrada que conforman el modelo de la red de Santiago fueron tomados principalmente de los planos del AyA. La red está alimentada por 5 salidas del tanque Junquillo de concreto de 350 m^3 (tanque de distribución), las cuales se enumeran en la tabla 7.7.

Tabla 7.7. Salidas del tanque de distribución a la red de Santiago.

Tubo	D	Material	Destino
P-607	50	H.G.	Sureste de Santiago
P-609	75	H.F.	Junquillo arriba (sur de Santiago)
P-675	125	H.F.	Santiago centro
P-677	200	PVC	Santiago centro
Santiago 100	100	PVC	Santiago centro

Fuente: AyA y el autor.

La red está compuesta de 175 nudos y 22.8 km de tubería (ver tabla 5.9 y figuras 5.5 y 5.6). Los detalles de estos elementos se tabularon en los anexos 9 y 15.

7.3.1 Coeficientes de rugosidad

Para efectos de análisis hidráulico, los coeficientes de rugosidad para los diferentes materiales de las tuberías se adoptaron como se muestra en la tabla 7.8.

Tabla 7.8. Coeficientes de rugosidad utilizados.

Material	C (Hazen-Williams)
Asbestocemento	110
Hierro fundido (H.F.)	90
Hierro dúctil (H.D.)	100
Hierro Galvanizado (H.G.)	100
PVC	115

Fuente: AyA, Optimización de Sistemas.

El valor de rugosidad (C de Hazen-Williams) asignado a la tubería de PVC es menor a lo usual debido a la edad de las instalaciones. Este valor corresponde, además a los resultados de Atan (2001) sobre las pruebas realizadas en conducciones del acueducto.

7.3.2 Caudales de diseño

Los caudales en las tuberías de la red de distribución dependen de los consumos en los nudos. Éstos a su vez se calcularon sumando la demanda de todos los servicios adyacentes a cada tubo.

El consumo promedio por servicio se obtuvo utilizando la dotación calculada en el capítulo 3. Una vez obtenidos los consumos promedio en los nudos, se aplica el patrón de variación horaria para calcular las demandas máxima (hora pico 11:00) y mínima (hora valle 22:00).

Estas demandas extremas (ver anexos 9 y 10) definirán los caudales máximos y mínimos que deberán transportar las tuberías de la red.

7.3.3 Problemas en la red de distribución actual

Una vez definidos los consumos en los nudos, se comprobó que las condiciones de funcionamiento medidas en la red correspondían al comportamiento calculado con el modelo. A este proceso se le conoce como calibración del modelo.

En el caso de Santiago, se utilizaron medidas de presión en 13 puntos diferentes de la red de distribución, como parámetro para verificar la exactitud del modelo.

Debido a la irregular topografía de la zona, la red de distribución presente tiene problemas de presión en ambos extremos del rango permitido.

La presencia de tuberías con diámetros de 25 mm y 36 mm para distribución en algunos ramales crea problemas de bajas presiones durante la hora pico. Asimismo, los puntos más bajos de la red presentan problemas de alta presión durante las horas de la noche y madrugada.

La norma no permite presiones mayores a los 75 mca en ningún punto de la red durante la hora de menor consumo. Esta restricción obedece especialmente a la limitada resistencia de los accesorios de uso doméstico (inodoros, lavatorios, duchas, llaves de paso, etc). Sin embargo, los excesos de presión en la red de distribución también aumentan la probabilidad de ocurrencia de fugas, y con ello la cantidad de agua no controlada en el sistema.

Las presiones altas implican mayores pérdidas por fricción en todo el sistema. En general, es deseable manejar presiones de distribución considerablemente menores a este límite máximo.

Las presiones bajas y negativas durante la hora pico indican que la demanda máxima asignada a esos nudos no puede ser satisfecha, pues las pérdidas por fricción superarían la carga disponible. Esto resulta en un abastecimiento a presiones y caudales muy bajos o interrupciones del servicio (intermitencia).

La norma exige un mínimo de 15 mca de presión en cualquier punto de la red a la hora de mayor demanda. En casos calificados se permiten hasta 10 mca.

En el anexo 9 se desglosan las características actuales de los nudos durante la hora pico (11:00). En el anexo 10 se muestran las mismas caraterísticas para la hora de menor demanda u hora valle (22:00).

Las figuras 7.2 y 7.3 muestran la distribución actual de presiones en la red durante las horas extremas. Nótese que la mayoría de los puntos con presión baja durante la hora pico, sostienen presiones normales en la noche.

La excepción son los nudos sobre el ramal noroeste (Jarazal), que se ubican a lo largo de una pendiente muy pronunciada. Durante la noche la presión supera el máximo permisible debido a las grandes diferencias de elevación, y durante el día, la tubería de 37 mm instalada no satisface la demanda local.

Cabe resaltar la permanencia de presiones bajas durante todo el día en el ramal sur (Junquillo Arriba). Esto se debe a que todos estos nudos

mantienen diferencias de elevación de entre 10 m y 15 m con el tanque de distribución. Sin embargo, sí se está cumpliendo la norma para la demanda actual máxima.

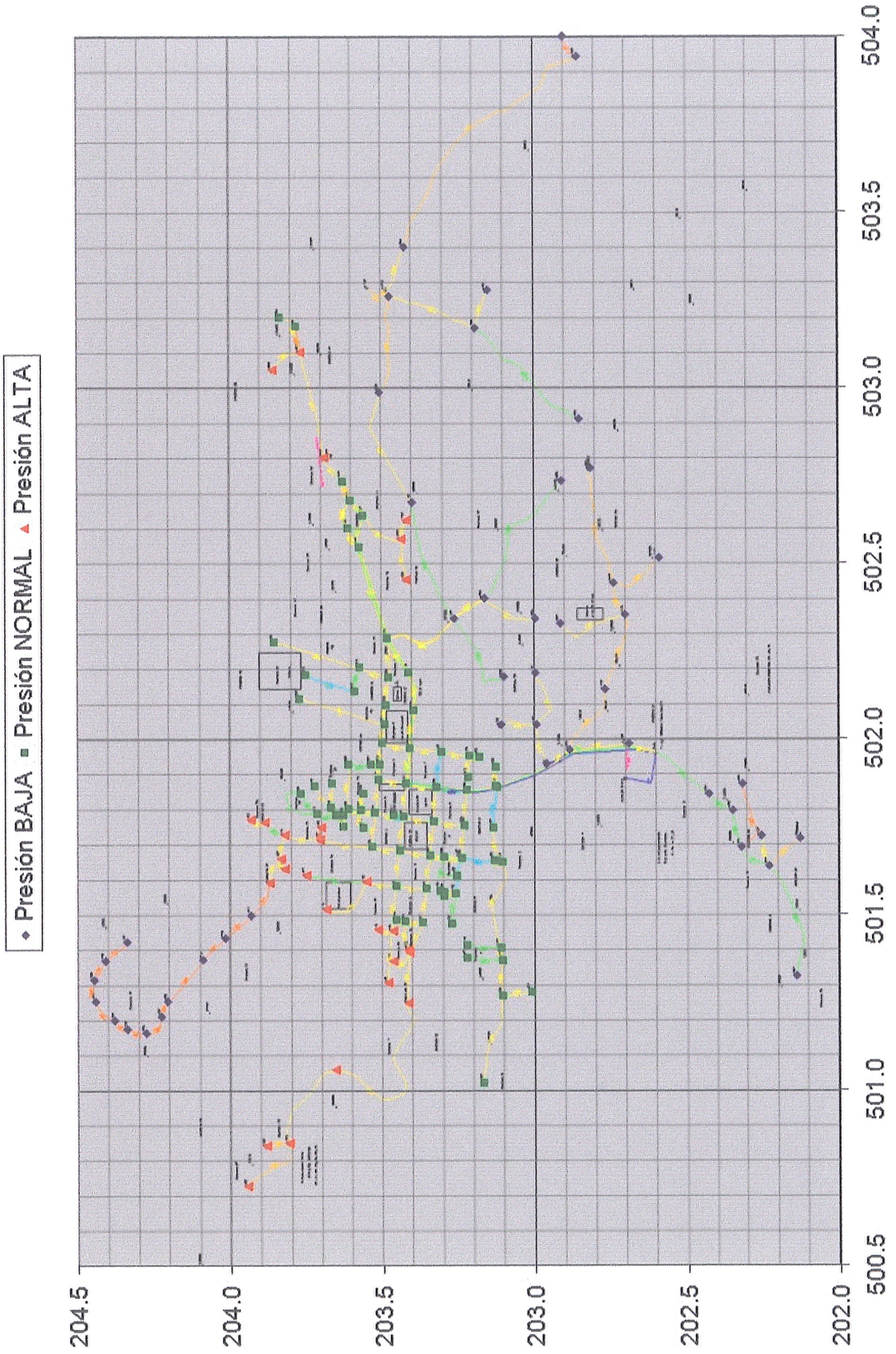


Figura 7.2. Presiones actuales en la red durante la hora pico (11:00).

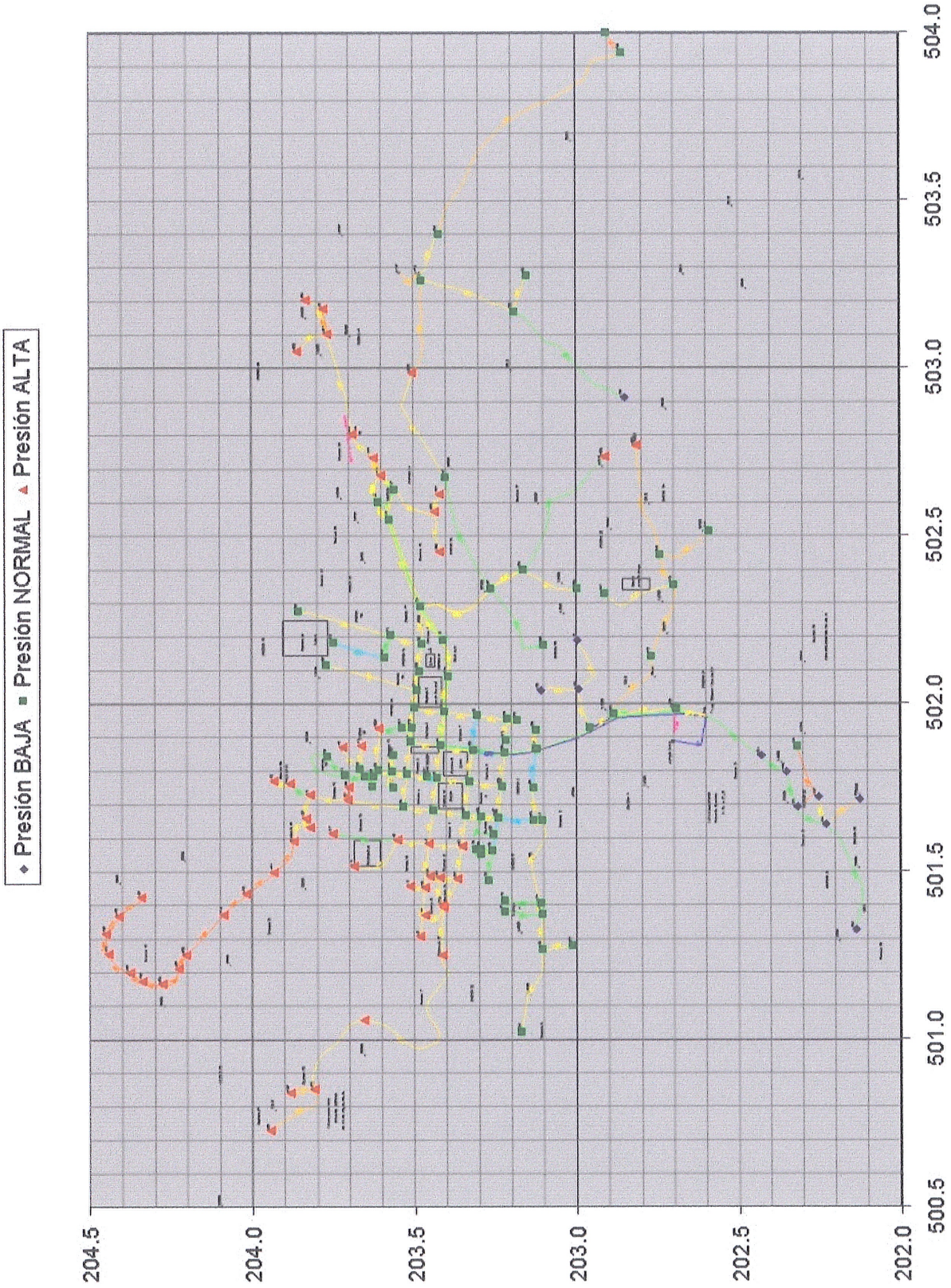


Figura 7.3. Presiones actuales en la red durante la hora valle (22:00).

7.4 MEDIDAS CORRECTIVAS

Los principales problemas de la red de distribución son las presiones extremas. Las posibles medidas correctivas a tomar incluyen la ampliación de diámetros, la instalación de válvulas reductoras y la separación de zonas de presión.

La gran irregularidad topográfica de Santiago hace prácticamente imposible la zonificación de la red por rangos de presión.

7.4.1 Correcciones para el sistema actual

Para poder abastecer los puntos más elevados o alejados de los tanques, se debe colocar tubería paralela a la existente, y de mayor diámetro, en los ramales problemáticos.

La tabla 7.9 resume el total de tuberías a agregar para corregir las deficiencias del sistema de distribución actual (para mayor detalle ver anexo 11). La figura 7.4 muestra esta misma información gráficamente.

Tabla 7.9. Resumen de tuberías a agregar.

Diámetro *mm*	**Material**	**Longitud** *m*
50	PVC	3007
75	PVC	1165
100	PVC	878
150	PVC	635

Fuente: el autor.

Se propone evitar las sobrepresiones de los puntos bajos colocando válvulas reductoras de presión. Asimismo, se recomienda colocar las válvulas indicadas en las entradas a la red (ver tabla 7.10). Con esto se lograría bajar el rango de presiones de toda la red.

Tabla 7.10. Válvulas reductoras de presión en las entradas de la red.

Válvula	Elevación	D	Presión *m.c.a.*		Long.	Lat.
	m.s.n.m.	*mm*	A.arriba	A.abajo	*Lambert*	
PRV-13	1,113.36	200	52.5	21.6	501.85	203.19
PRV-14	1,107.69	100	58.2	27.3	501.86	203.30
PRV-22	1,120.00	125	42.0	15.0	501.85	203.15

Fuente: el autor.

El anexo 12 muestra el detalle de estas válvulas propuestas para regular las presiones máximas. En la figura 7.5 se localizan las válvulas en el sistema.

Las figuras 7.6 y 7.7 ilustran la distribución de presiones que se presentarían en la red durante las horas de mayor y menor demanda, respectivamente, luego de las medidas correctivas.

Adicionalmente se sugiere estudiar la posibilidad de derivar una distribución desde el tanque metálico, para aumentar en unos 10 mca la presión de los nudos de Junquillo Arriba (ver nudos de color azul en la figura 7.6).

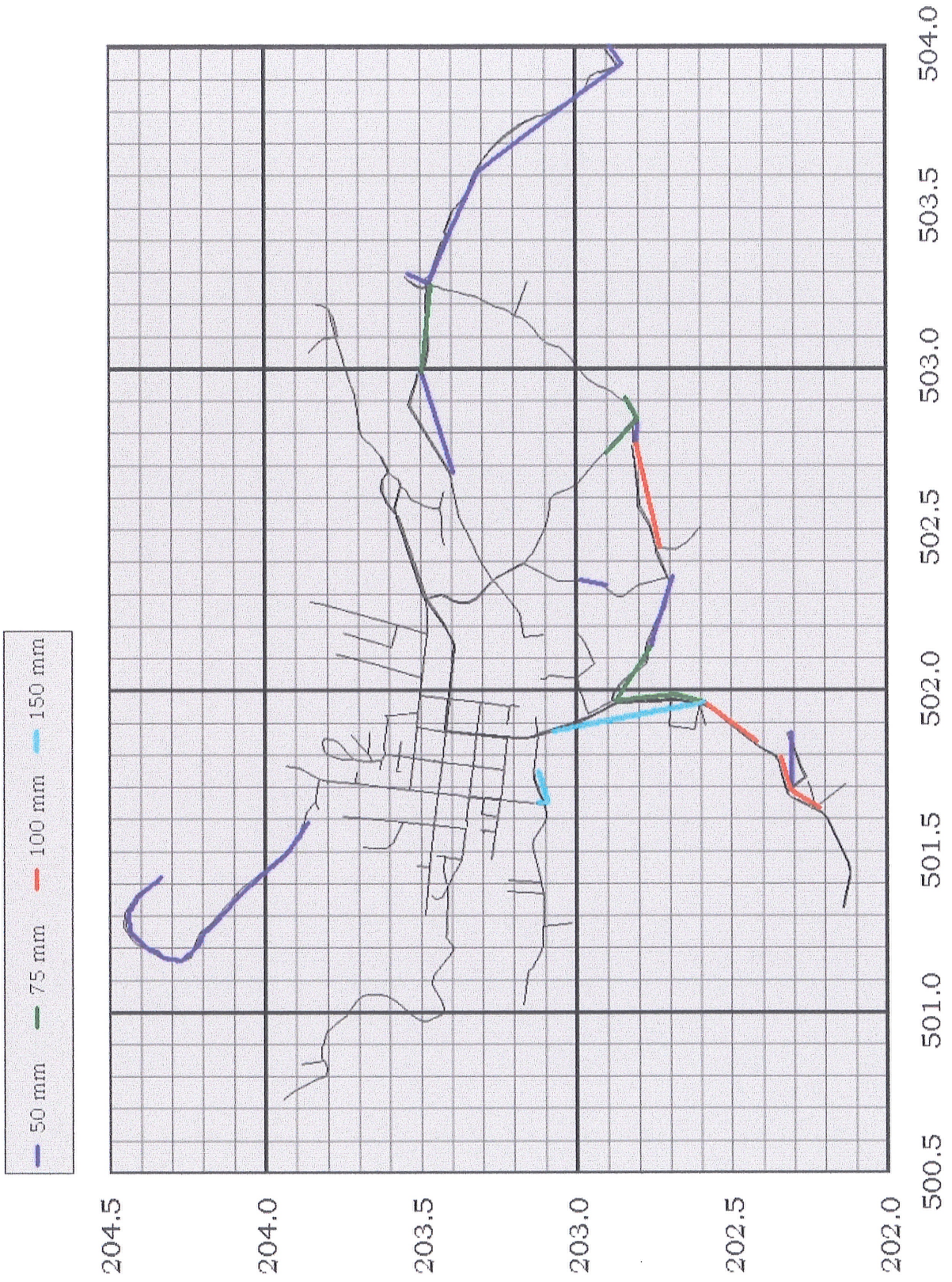


Figura 7.4. Tubería a añadir para corregir el sistema actual.

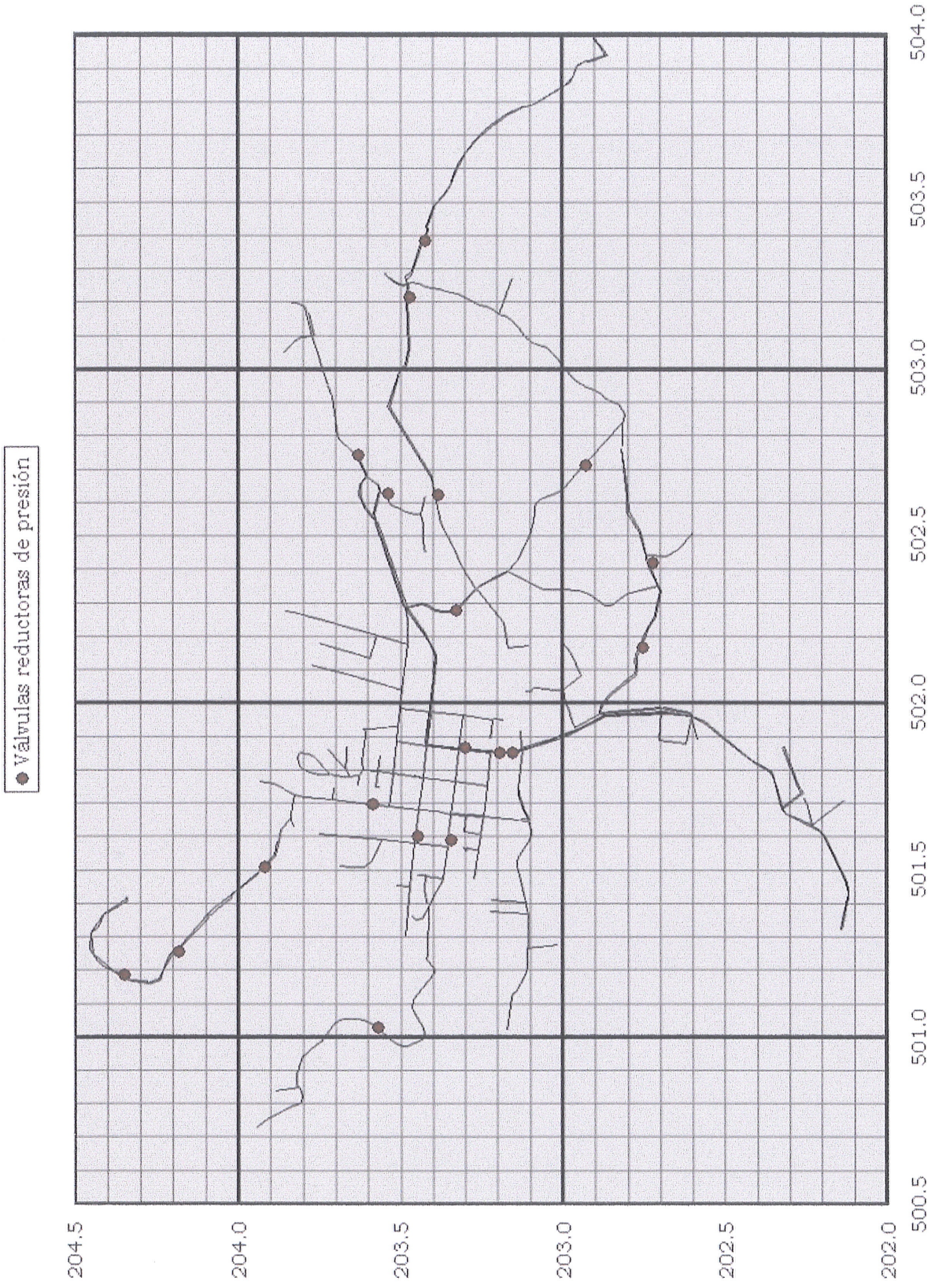


Figura 7.5. Ubicación de las válvulas reductoras de presión a instalar para corregir el sistema actual.

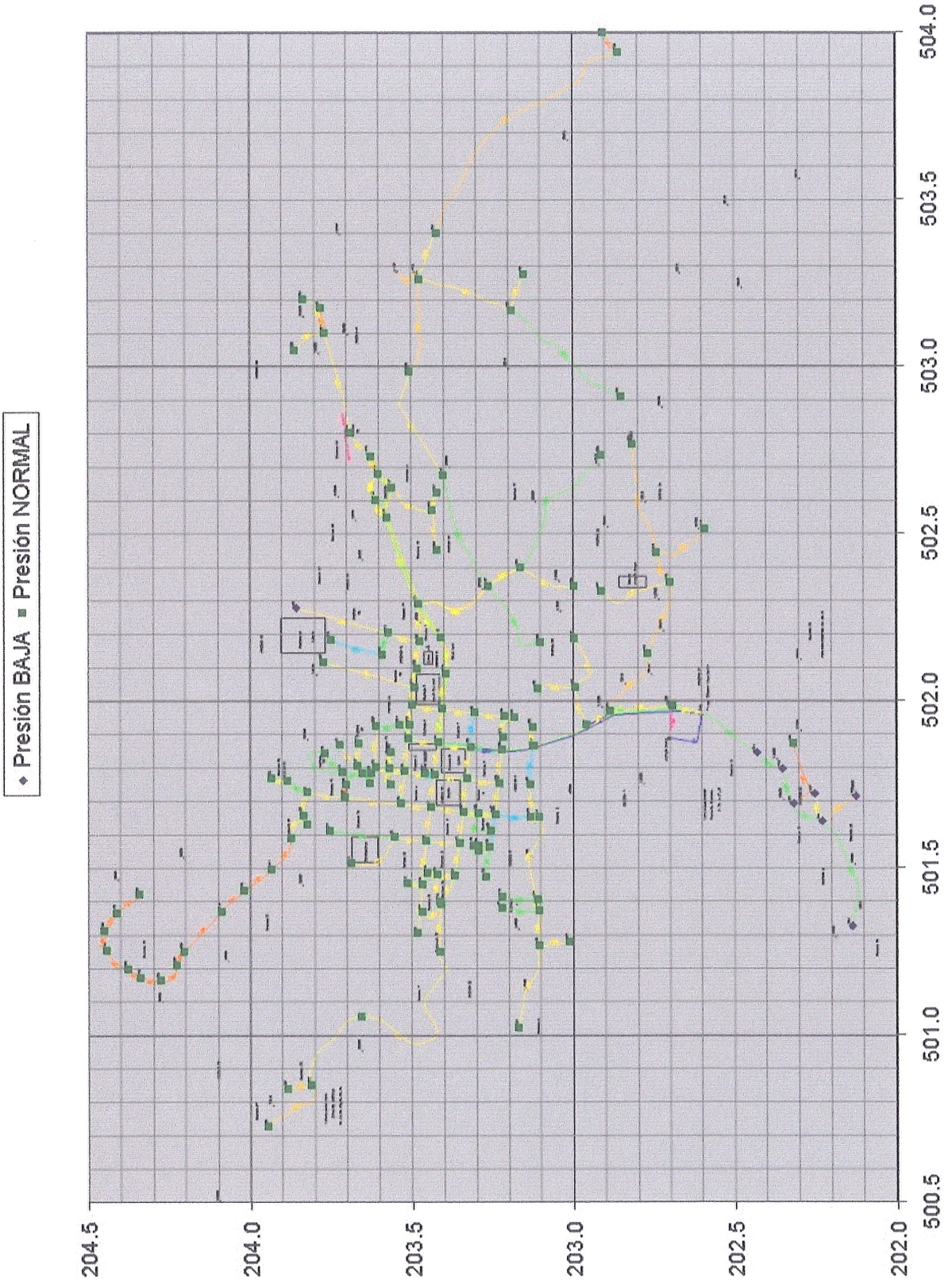


Figura 7.6. Presiones actuales en la red durante la hora pico (11:00) después de las mejoras.

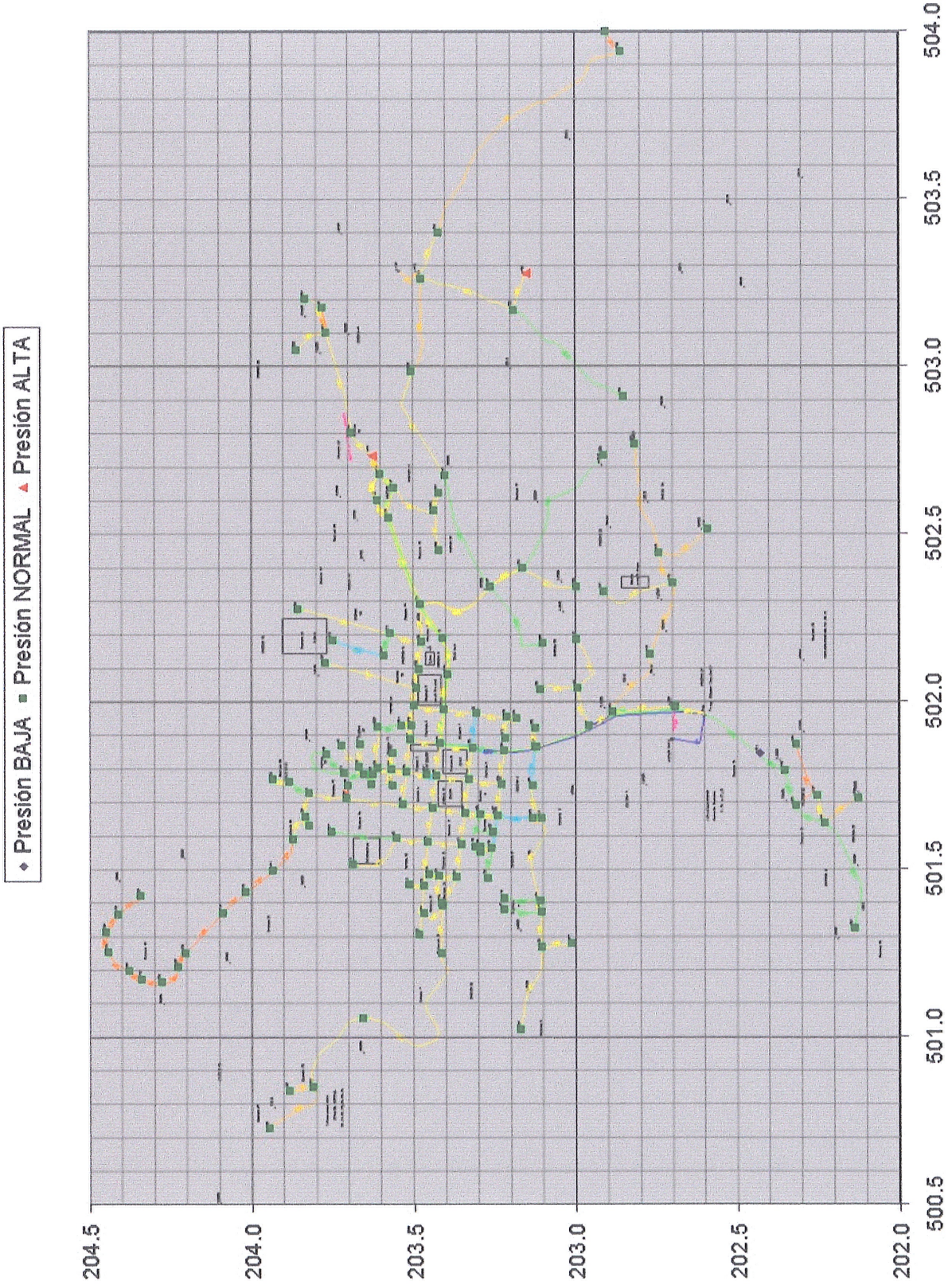


Figura 7.7. Presiones actuales en la red durante la hora valle (22:00) después de las mejoras.

7.4.2 Correcciones para el futuro

Para mantener la condición normal de funcionamiento del sistema en el tiempo se deben programar algunas mejoras futuras. Esto obedece a que el sistema de distribución tiene una capacidad limitada, mientras que la demanda crece constantemente.

Los crecimientos de la población y de la demanda, fueron estimados en los capítulos 3 y 4, respectivamente. Estos datos se utilizaron para estimar la exigencia sobre el sistema durante el período de interés.

2010

La ubicación de los nudos, tubos y válvulas mencionadas en esta sección se ilustran en la figura 7.8.

Para las demandas estimadas en el año 2010, el sistema corregido (según se indicó en la sección anterior) funciona aceptablemente. La excepción es el nudo J-238, cuya presión durante la hora pico alcanza valores por debajo de la norma.

Para elevar la presión en J-238 se sugiere cambiar la regulación de la PRV-40 a 45 mca y aumentar los diámetros de las tuberías que se indican en la tabla 7.11.

Estas medidas elevan la presión satisfactoriamente, sin embargo con estas correcciones, el nudo J-237 presenta presiones mayores a la norma máxima, durante la hora valle. Por esto, se hace necesario instalar la válvula reductora de presión PRV-43 (1080 msnm) regulada a 45 mca.

Las tablas 7.11 y 7.12 muestran las correcciones sugeridas, la figura 7.8 detalla su ubicación en el plano.

Tabla 7.11. Tuberías a aumentar para 2010.

Tubo	L	D	De Nudo	Long.	Lat.	A Nudo	Long.	Lat.
	(m)	(mm)		Lambert			Lambert	
Mejoras-763	104.40	75	J-197	502.18	202.99	J-238	502.17	203.09
Mejoras-761	121.50	100	J-201	501.92	202.95	J-187	502.04	202.98
Mejoras-762	193.30	100	J-187	502.04	202.98	J-197	502.18	202.99
Mejoras-687	104.70	150	Junquillo Concreto	501.96	202.59	J-450	501.98	202.68
Mejoras-688	195.40	150	J-450	501.98	202.68	J-244	501.96	202.88
Mejoras-760	90.20	150	J-244	501.96	202.88	J-201	501.92	202.95

Fuente: el autor.

Tabla 7.12. Válvulas a regular para 2010.

Válvula	Elevación	D	Presión (m.c.a.)		Long.	Lat.
	m.s.n.m.	*mm*	*A.Arriba*	*A.Abajo*	*Lambert*	
PRV-40	1,080.00	100	75.1	45	502.27	203.33
PRV-43	1,080.00	75	83.5	45	502.28	203.20

Fuente: el autor.

La línea Mejoras-763 no existe, ésta uniría dos ramales cercanos pero inconexos.

En las figuras 7.9 y 7.10 se muestran gráficamente las presiones en la red, que se presentarían en el año 2010 con las mejoras instaladas, durante las horas de mayor y menor consumo, respectivamente.

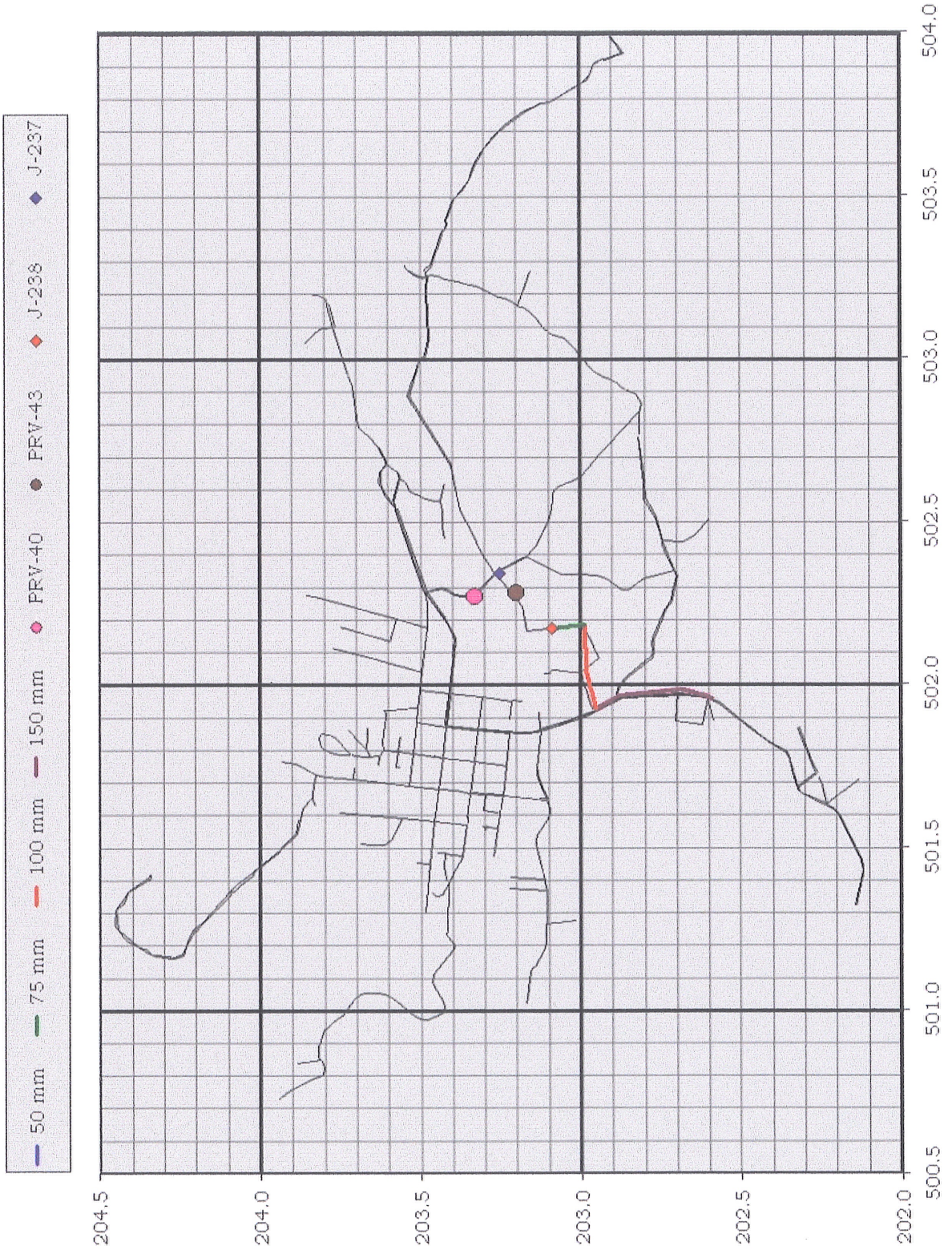


Figura 7.8. Ubicación de las correcciones propuestas para el año 2010.

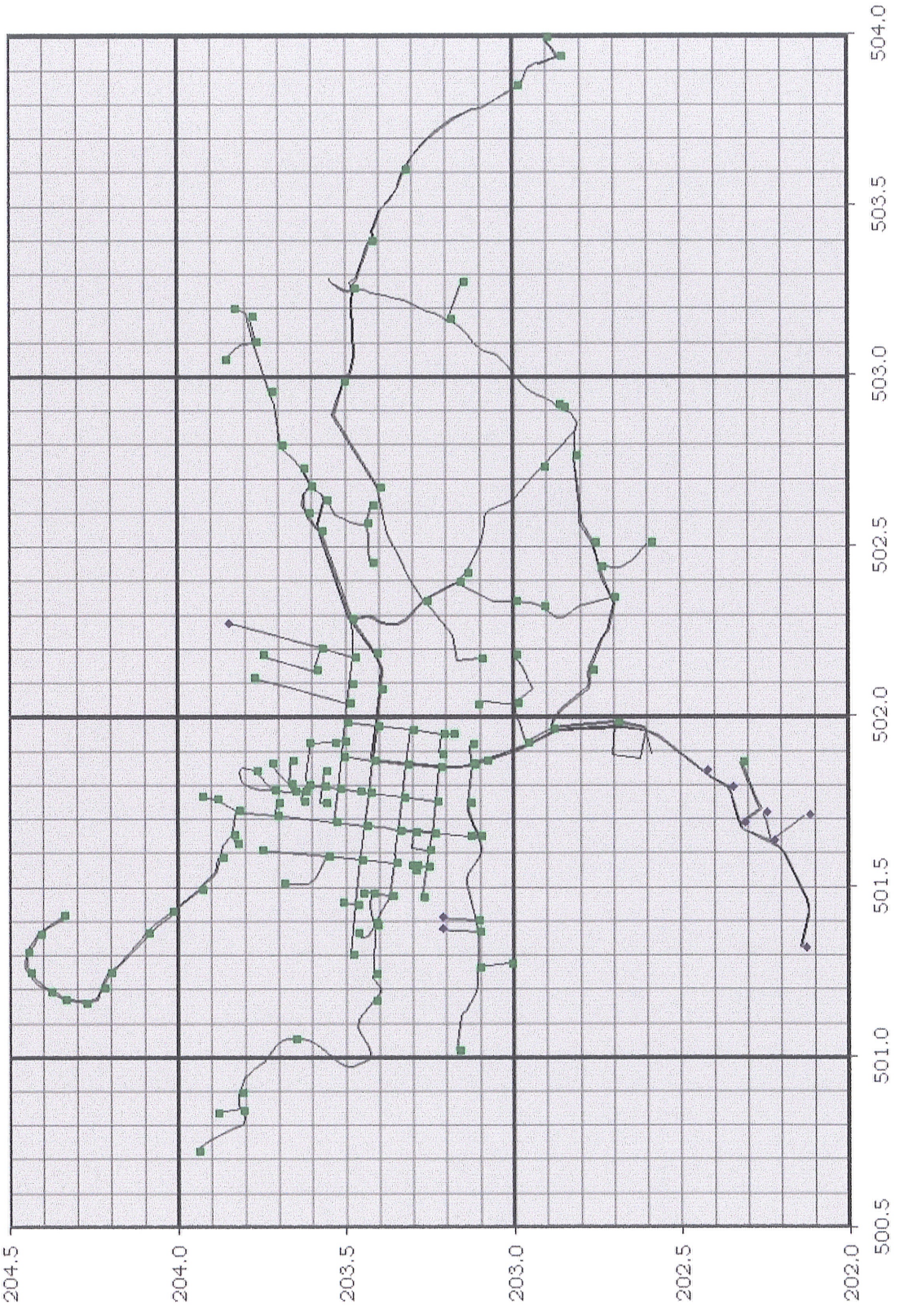


Figura 7.9. Presiones en la red durante la hora pico (11:00) después de las mejoras 2010.

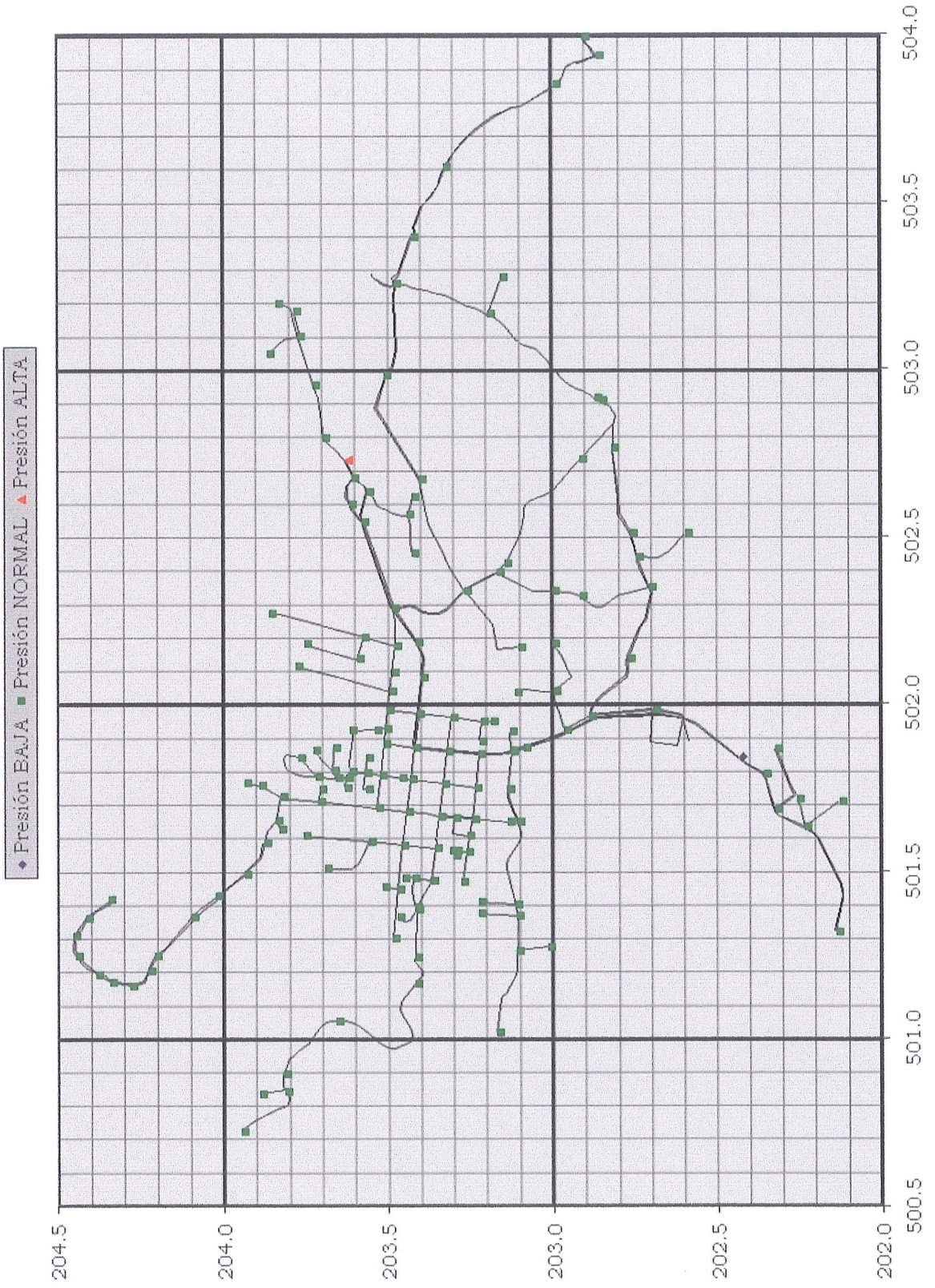


Figura 7.10. Presiones en la red durante la hora valle (22:00) después de las mejoras 2010.

La ubicación de los elementos mencionadas en las siguientes dos secciones se ilustran en la figura 7.11. La figura 7.12 y 7.13 ilustran las presiones en la red, que se presentarían en el año 2030 con las mejoras instaladas, durante las horas de mayor y menor consumo, respectivamente.

2020

La válvula reductora de presión PRV-38 debe regularse a 29 m.c.a., de modo que el punto J-234 cumpla con la presión mínima durante la hora pico.

2030

La válvula reductora de presión PRV-38 debe regularse a 32 m.c.a., de modo que el punto J-234 cumpla con la presión mínima durante la hora pico.

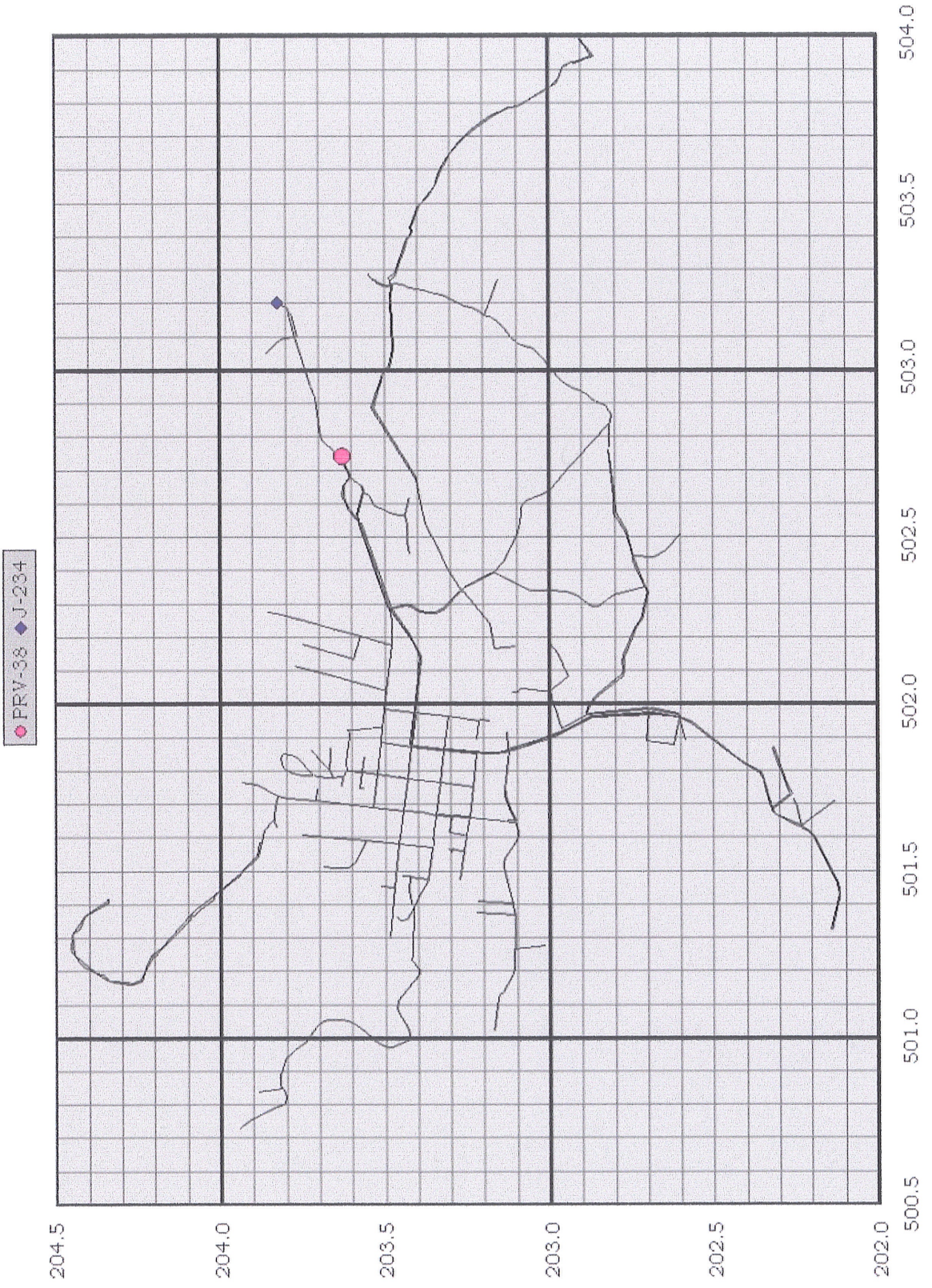


Figura 7.11. Ubicación de las correcciones propuestas para los años 2020 y 2030.

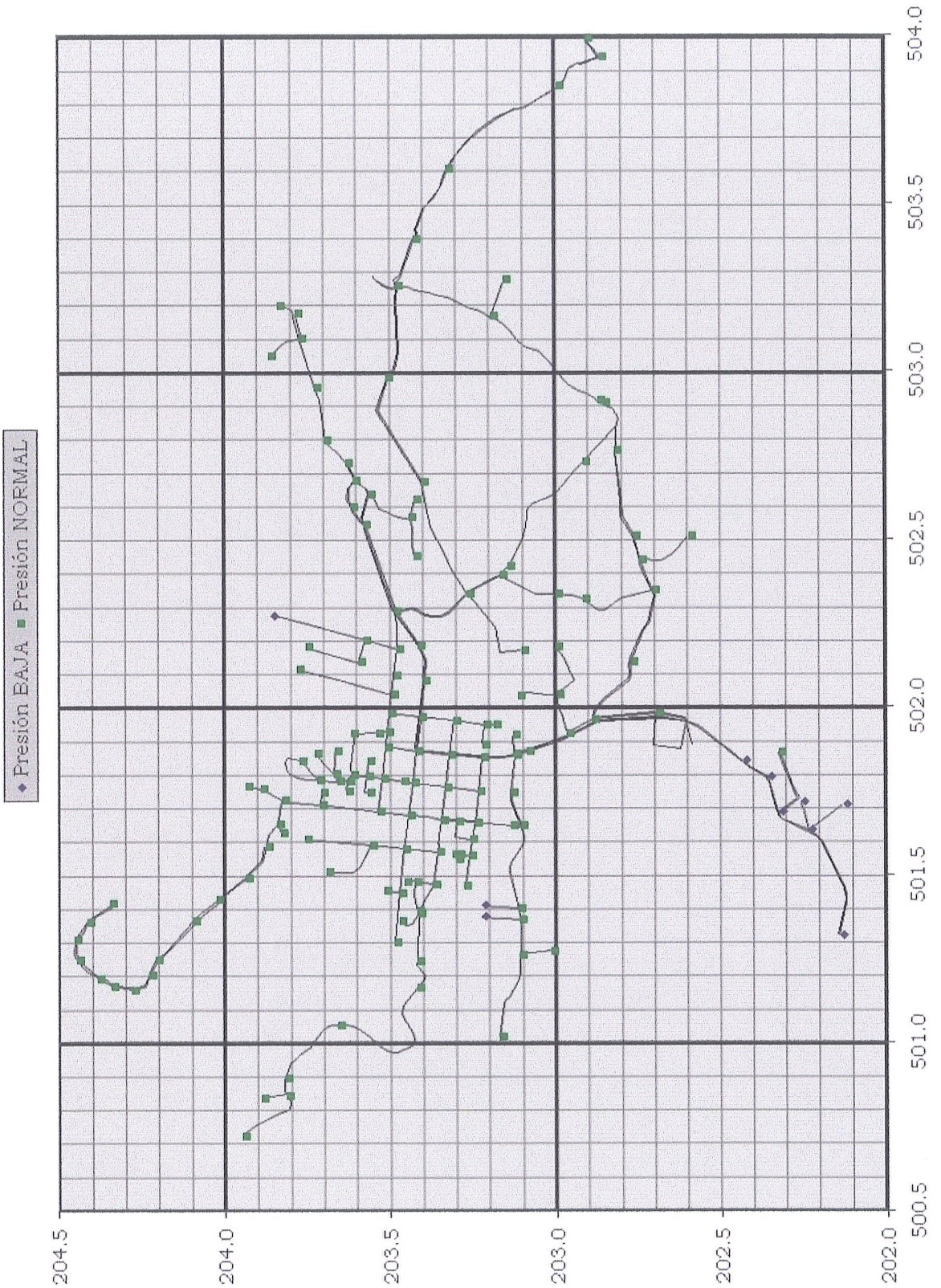


Figura 7.12. Presiones en la red durante la hora pico (11:00) después de las mejoras 2030.

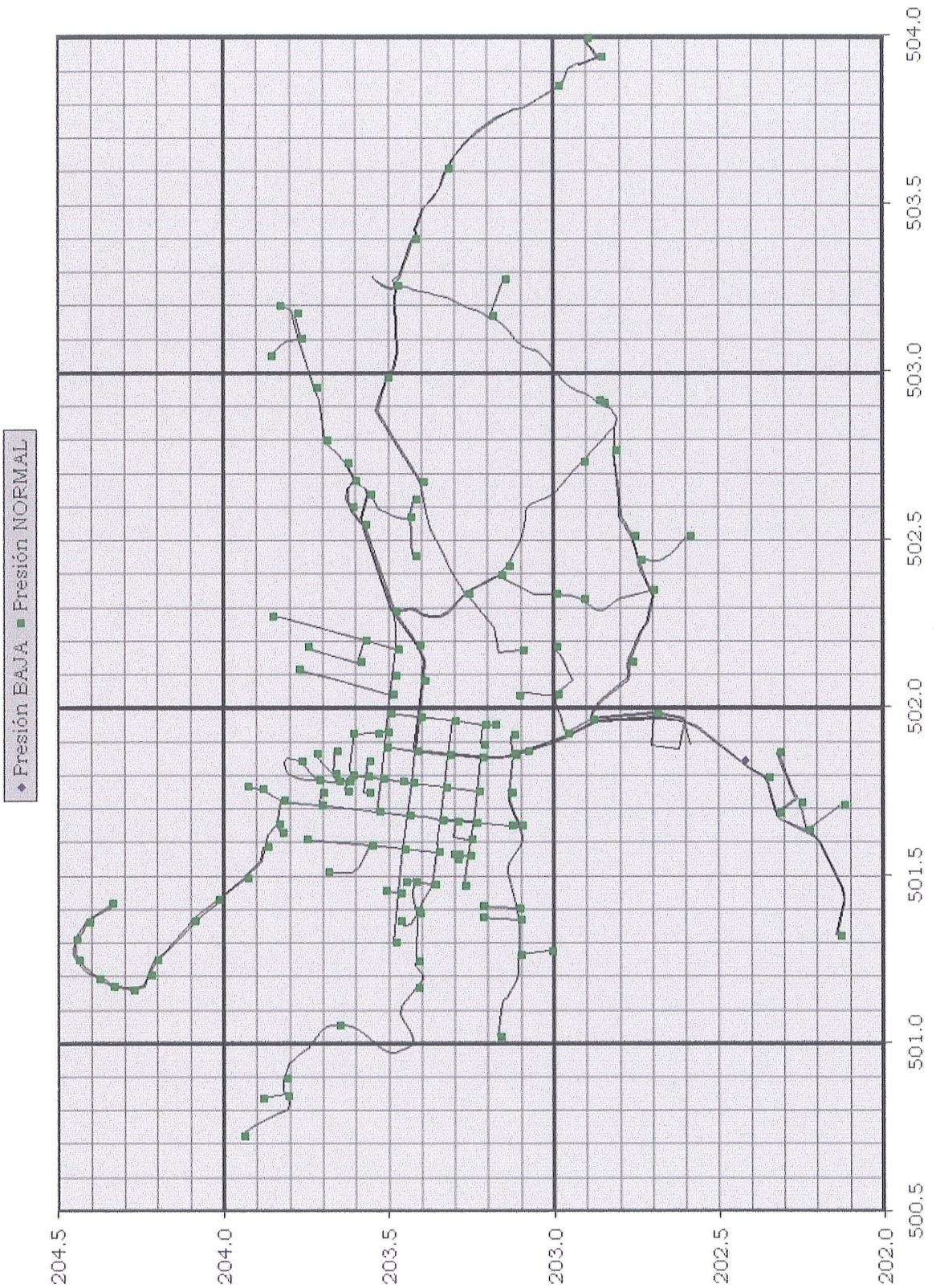


Figura 7.13. Presiones en la red durante la hora valle (22:00) después de las mejoras 2030.

7.4.3 Costos Preliminares

Los costos de las obras antes propuestas se estimaron de forma preliminar según registros y cotizaciones anteriores, disponibles en el AyA. El desglose de estos costos se muestra en la tabla 7.13. Para mayor detalle, ver anexo 18.

Tabla 7.13. Estimación preliminar de los costos de las obras propuestas.

OBRA	COSTO ($)
Camino a Cirrí	1,721.68
Jarazal	8,809.86
Junquillo 1	6,883.79
Junquillo 2	12,661.29
Junquillo 3	6,463.63
Pueblo Nuevo	1,231.80
Santa Cecilia 1	7,752.50
Santa Cecilia 2	7,544.28
Santiago	17,786.17
Tanque nuevo	85,553.86
TOTAL	**156,408.86**

CAPÍTULO 8:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

Se analizó el desempeño del Acueducto de Santiago de Puriscal, desde el punto de vista de la hidráulica de la red de distribución, los sistemas de producción, la demanda y su proyección a futuro.

Además, en el primer capítulo se describió el área de estudio y se mencionaron sus características generales, infraestructura urbana, aspectos socioeconómicos, e infraestructura social.

8.1.1 Proyecciones demográficas

1. A partir de la tendencia marcada por los censos nacionales, el **crecimiento anual promedio** proyectado para la población cubierta por el sistema potable de Santiago es de **2.2%**. La tabla 8.1 muestra el resumen de estas proyecciones.

Tabla 8.1. Proyecciones de población sistema potable de Santiago.

Año	Población
2003	15 673
2005	16 590
2010	18 898
2015	21 230
2020	23 590
2025	25 987
2030	28 429

Fuente: el autor.

8.1.2 Dotación

1. La **dotación actual** estimada para el sistema potable de Santiago de Puriscal es de **339.4 l/hab/d**.

2. Esto significa que el sistema consume, en promedio **61.6 l/s**.

3. El **agua no controlada** (ANC) constituye un **29.4%** de la producción actual.

4. Los servicios no medidos son el 0.95% del total. Es decir, el **porcentaje de medición** actual es de **99.05%**.

5. Si el ANC, la cobertura de medición y la tendencia de crecimiento se mantienen, se proyecta que para el año 2030, el **consumo promedio** del sistema alcanzará un valor de **111.7 l/s**.

6. Sin embargo, suponiendo que para el año **2030**: ANC=20% y medición=100% (∴dotación=298.4 l/hab/d), el consumo promedio se reduce a **98.2 l/s**. La tabla 8.2 muestra la proyección de la dotación durante el período de interés.

Tabla 8.2. Proyección de la dotación.

Año	D	ND	EF		ANC		Dotación
	l/hab/d	*l/hab/d*	*l/hab/d*	*% medición*	*l/hab/d*	*%ANC*	*l/hab/d*
2003	214.2	24.3	1.1	99.05 %	99.8	29.4%	**339.4**
2005			1.0	↓ Gradual	96.8	↓ Gradual	**336.4**
2010			0.8		89.5		**328.8**
2015			0.6		82.1		**321.2**
2020			0.4		74.7		**313.6**
2025			0.2		67.3		**306.0**
2030			0.0	100.00 %	59.9	20.0%	**298.4**

7. Esta considerable diferencia entre los consumos promedio proyectados (más de 13 l/s) indica que debe otorgársele una alta prioridad a la mejoría de los parámetros operativos del sistema.

8.1.3 Demanda y déficit de agua

1. Las fuentes que alimentan al Acueducto de Santiago de Puriscal producen en promedio 89.4 l/s. De este total, **67.9 l/s** llegan a los tanques de almacenamiento de Junquillo y se consumen en el **Sistema de Santiago** (incluyendo derivaciones a poblados cercanos). El resto se deriva al vecino Cantón de Mora.

2. El balance actual de agua calculado para el sistema de Santiago arroja un **superávit** de **6.3 l/s**, lo cual representa menos del 10% de la producción.

3. Por lo tanto, el Sistema Potable de Santiago se encuentra actualmente **cerca de su punto de equilibrio**, y se estima que lo alcanzará en los próximos 3 ó 4 años (2006 – 2007).

4. Actualmente, los efectos del inminente déficit de agua se perciben en la intermitencia del servicio. Ésta es un claro indicador de que, durante las horas pico, el agua recolectada de las fuentes no es suficiente para abastecer la demanda. Esta situación es agravada por el actual déficit de almacenamiento.

5. El déficit de agua se debe principalmente a deficiencias en las estructuras del sistema. Específicamente, la línea Río Negro (toma – desarenador – planta Quitirrisí 2) se encuentran fuera de operación. Esto está reduciendo el potencial de producción en más de 30 l/s, según lo descrito en la siguiente sección.

8.1.4 Fuentes de agua

1. El Sistema de Santiago no requiere del aprovechamiento de nuevas fuentes para satisfacer la demanda en el lapso de los próximos 25 años. Sin embargo, sí es necesario captar una mayor cantidad de agua de las fuentes actuales.

2. La posibilidad de explotación de pozos en Puriscal para alimentar al sistema de Santiago ha sido desechada por el Departamento de Estudios Básicos del AyA, debido a las condiciones del suelo. Sin embargo, esta política del AyA no ha sido corroborada con estudios detallados. La factibilidad técnico-económica de esta opción debe justificarse mediante el análisis exhaustivo de la condición de las aguas subterráneas de la zona.

3. De los tres sistemas que abastecen actualmente el Acueducto de Santiago, el AyA tiene mediciones de caudal sólo de los ríos Negro y Tabarcia. Para poder estimar la capacidad de producción de las fuentes de Desamparaditos, Cañales y Cañalitos, sería necesario contar con registros históricos de sus caudales.

4. El análisis de ocurrencia de caudales mínimos realizado en el presente estudio (ver capítulo 5) indica que para un período de retorno de 30 años, los caudales mínimos anuales esperables en los ríos Negro y Tabarcia, no subyacerán los 32.4 y 55.3 l/s respectivamente.

5. Si se captaran 32.4 l/s del Río Negro y 55.3 l/s del Río Tabarcia, se podría cubrir la necesidad de agua del Acueducto de Santiago durante los próximos 25 años, y por lo tanto no se requeriría la explotación de fuentes adicionales. La posibilidad de este aprovechamiento depende

de la verificación de la capacidad de las estructuras involucradas (tomas, conducciones, desarenadores y plantas de tratamiento) de ambos ríos.

6. Esta evaluación de la capacidad es especialmente importante para el caso de las estructuras en la línea de producción del Río Negro (toma, desarenador, conducciones y planta de tratamiento Quitirrisí 2), que actualmente se encuentran fuera de operación.

7. Por otro lado, la capacidad estimada de las fuentes está sujeta al estado de sus cuencas hidrográficas. La calidad del agua que se capta en los ríos Negro y Tabarcia es susceptible de decaer si estas cuencas se deterioran a causa de la deforestación. Ésta es capaz de provocar la agresiva erosión, típica en los finos suelos de la zona.

8. Es necesario fortalecer los programas de protección de estas cuencas. La conservación de sus sistemas ecológicos será indispensable para garantizar la calidad y cantidad de agua, actualmente disponibles, en el futuro.

9. De no asegurarse la protección de las cuencas hidrográficas, la reducción y el deterioro del recurso obligarán a la inversión en mayores estructuras de tratamiento (desarenadores, filtros, plantas, etc.) y, probablemente nuevas captaciones.

8.1.5 Almacenamiento y distribución

1. La población servida actualmente por el sistema de Santiago **requiere** un almacenamiento total de **1389 m³** (ver capítulo 6).

2. Los tanques de Junquillo suman 1200 m³. Así, el **déficit actual** es de **189 m³**.

3. Dada la proyección de la población a servir por el sistema de Santiago, el almacenamiento requerido para el **año 2030** será de 2162 m³. Para ese año, con el almacenamiento actual, el **déficit** sería de **962 m³**.

4. El almacenamiento presente de Santiago es suficiente para regular la demanda horaria actual y cubrir parcialmente las eventualidades de diseño (incendios e interrupciones). Sin embargo el creciente déficit exigirá la construcción de un tanque por lo menos similar al metálico de Junquillo (850 m³) para suplir las necesidades durante el período de estudio.

5. Se sugiere, de ser posible, instalar el nuevo almacenamiento en el Cerro Marín (Elev. 1167 m.s.n.m., Long. 502.3, Lat. 204.1), en el sector noroeste de Santiago. Esta ubicación aumentaría la presión de los barrios cercanos, los cuales están elevados y alejados del actual almacenamiento de Junquillo. En su defecto, puede considerarse la instalación del nuevo almacenamiento junto al tanque metálico existente, ya que el lote tiene espacio disponible.

6. El sistema de distribución de Santiago presenta problemas de presiones extremas debido a su notable irregularidad topográfica. Para solventar los problemas actuales será necesaria la instalación de tubería y

válvulas reguladoras de presión. Una vez aplicadas las estas mejoras, en el futuro será necesario realizar algunos cambios adicionales para mantener el buen funcionamiento de la red. El costo total de los trabajos propuestos se estimó en US$ 156 400. El plan de mejoras presentes y futuras se detalla en la sección de recomendaciones.

8.2 RECOMENDACIONES

8.2.1 Dotación

1. Como medida parcial para solventar el futuro déficit de agua en el acueducto, se recomienda disminuir la dotación promedio mediante las siguientes acciones:

   a. Disminuir el agua no controlada a un 20% mediante:
      i. Disminución de la presión en la red por la instalación de válvulas reguladoras de presión como se indica en el plan de mejoras. Esto reduciría las fugas y desperdicios causados por la sobrepresión.
      ii. Aumento del porcentaje de micromedición.
      iii. Implementación de un plan de mantenimiento para el buen estado y funcionamiento de los sistemas.

   b. Establecer un sistema comercial eficiente. Esto además aumentaría los ingresos del AyA de Puriscal.

   c. Educar a la población para el uso racional del agua.

8.2.2 Sistemas de producción

1. Se recomienda abrir y mantener un registro de producción de las fuentes del acueducto (Desamparaditos, Cañales, Cañalitos, Río Negro y Río Tabarcia). En su defecto, deberían hacerse al menos mediciones regulares de caudal instantáneo (aforos). Esta información serviría para conocer la capacidad de las fuentes, prever su comportamiento y garantizar la sostenibilidad de su aprovechamiento.

2. Es necesario realizar estudios de calidad al agua aprovechada en los sistemas Desamparaditos y Cañales - Cañalitos. Ambos sistemas cuentan con cloración para sus aguas, sin embago el agua no es procesada por una planta de tratamiento. Los estudios realizados deberán aportar la información requerida para diseñar las respectivas estructuras de tratamiento, acordes a las características específicas de las aguas crudas explotadas en estos dos sistemas de producción.

3. Se sugiere aumentar la captación de las tomas en los ríos Negro y Tabarcia a por lo menos 32 y 55 l/s, respectivamente. Las conducciones, desarenadores y plantas de tratamiento entre estas fuentes y el tanque metálico de Junquillo deberán evaluarse en su capacidad para procesar estos caudales, y de ser necesario ampliarse. El agua que se capte luego de aplicadas estas ampliaciones bastará para cubrir las necesidades de Santiago durante los próximos 25 años (ver figura 4.7).

4. Se recomienda actualizar los programas de protección de las cuencas hidrográficas de estos ríos, o en su defecto, crearlos e implementarlos. Estos programas deberán garantizar la permanencia de los sistemas biológicos que cubren las cuencas, asegurándose de evitar su

deforestación y la subsiguiente erosión de sus suelos. Es indispensable además, controlar la efectividad de estos programas de protección a través de inspecciones regulares en la zona y mediciones periódicas de la calidad del agua.

5. Las estaciones de bombeo de los tres sistemas de producción (Desamparaditos, Cañales – Cañalitos, y Río Negro – Río Tabarcia) deben contar con estructuras para generación de energía (plantas eléctricas de combustible fósil). El acueducto depende totalmente de las bombas que impulsan el agua hasta Santiago, y por lo tanto debe garantizarse su funcionamiento en caso de fallas en el servicio eléctrico. Se recomienda incorporar la instalación de estos equipos de generación eléctrica dentro de las actividades de mantenimiento y actualización del acueducto.

6. Es necesario también adaptar los horarios de bombeo de estas estaciones para obtener el mayor provecho posible del agua extraída y del almacenamiento disponible. Por esta razón, se recomienda modificar las jornadas de bombeo de acuerdo a los resultados de la optimización desarrollada por Cordero (et al. 2001), que se muestran en el anexo 19.

7. Es necesario estudiar cuantitativa y cualitativamente las fuentes subterráneas cercanas a Santiago, para determinar la factibilidad de su aprovechamiento como fuentes para el acueducto. Los resultados de estos estudios podrían significar ahorros importantes para el AyA, o en su defecto la justificación de obras de mayor magnitud para captar caudales adicionales durante los próximos 25 años.

8. Se recomienda estudiar la cantidad y calidad de las aguas que se extraerían según la propuesta de Aymerich (2000) para estabilizar el

deslizamiento de Santiago. El agua recogida para abatir el nivel freático de la ciudad podría abastecer al acueducto.

9. Para estimar la factibilidad de la recomendación anterior es necesario conocer en detalle el proceso hidrogeológico del deslizamiento. Esto requiere de estudios que documenten por lo menos las siguientes áreas del fenómeno:
   - Geología (documentada por Peraldo, 1996)
   - Infiltración
   - Precipitación
   - Uso del suelo
   - Líneas de flujo
   - Tipo de aguas subterráneas (freáticas o colgadas)
   - Zonas de recarga
   - Zonas de protección y vulnerabilidad

10. Es recomendable iniciar el estudio de fuentes futuras, para abastecer el Sistema de Santiago después concluidos los 25 años que considera el presente trabajo. En el capítulo 4 se proponen algunas fuentes superficiales en la zona (ver tabla 4.6 y figuras 4.8, 4.9). Debido a la magnitud de estos proyectos, sería conveniente considerar la posibilidad de aprovechar estas nuevas fuentes en coparticipación con otros acueductos vecinos.

8.2.3 Almacenamiento y distribución

La ubicación de las obras desglosadas a continuación (tabla 8.3) se ilustra en la figura 8.1.

Tabla 8.3. Plan de mejoras.

Año	Acción	Subacción
2003	Telemetría búster San Antonio	Concluir pruebas
		Implementar funcionamiento
2004	Bomba 150 H.P. búster S.A.	Instalación
		Pruebas
	Obra Santiago	Instalación
		Regulación
2005	Tomas ríos Negro y Tabarcia	Ampliación
	Obra Jarazal	Instalación
		Regulación
2006	Conducción tomas-tanque Junquillo	Aumento de la capacidad
	Obra Junquillo 1	Instalación
		Regulación
2007	Obra Junquillo 2	Instalación
	Obra Camino a Cirrí	Instalación
		Regulación
2008	Obra Junquillo 3	Instalación
		Regulación
	Obra Pueblo Nuevo	Instalación
		Regulación
2009	Obra Santa Cecilia 1	Instalación
		Regulación

...Continuación Tabla 8.3

Año	Acción	Subacción
2010	Obra Santa Cecilia 2	Instalación
		Regulación
2011	Mejoras 2010 (ver tablas 7.11 y 7.12)	Instalación
		Regulación
	Almacenamiento nuevo	Construcción
2020	Mejoras 2020 (ver fig. 7.11)	Instalación
		Regulación
2030	Mejoras 2030 (ver fig. 7.11)	Regulación

Fuente: el autor.

1. Adicionalmente se sugiere estudiar la posibilidad de que las obras de distribución "Santiago" y "Junquillo 2" se deriven directamente desde el tanque metálico de Junquillo. Con esto se aumentaría en unos 10 m.c.a. la presión de los nudos servidos, que trabajan cerca e incluso por debajo del límite mínimo.

2. Se recomienda ubicar el almacenamiento nuevo en el pico Marín (elevación máxima 1161 m.s.n.m.) al noreste de Santiago (ver figura 8.1). Con esto se aumentaría la presión en esta área, que presenta presiones bajas por estar elevada y lejos del tanque de Junquillo.

3. La operación del sistema potable de Santiago deberá incluir programas de actualización y mantenimiento preventivo. La sustitución de tubería vieja en la red, el control de fugas, la limpieza de tomas, desarenadores y plantas de tratamiento deberán considerarse dentro de las actividades y presupuestos futuros. La planeación e implementación de estos programas deberá tener una prioridad alta.

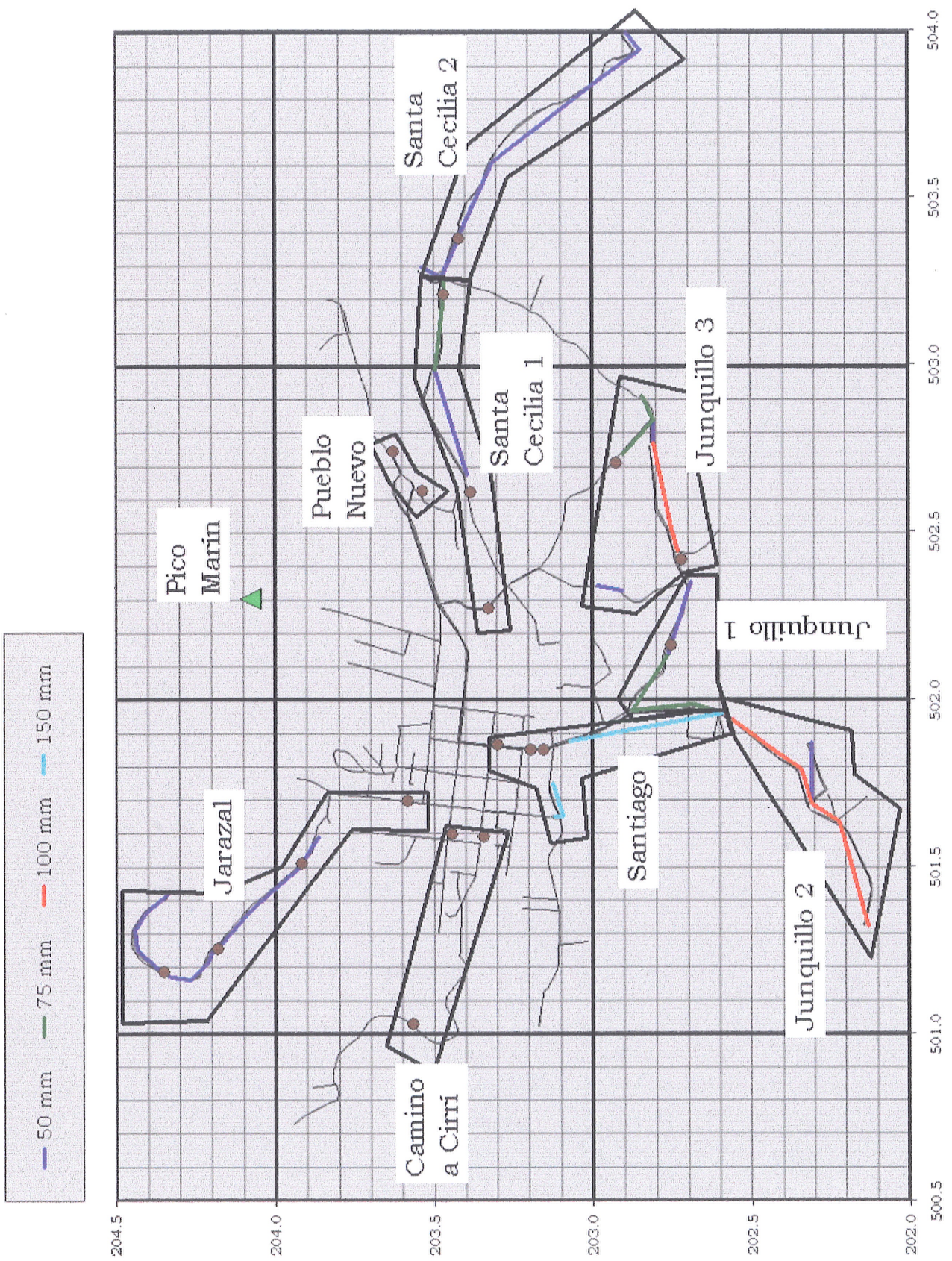


Figura 8.1. Guía de la ubicación de las mejoras recomendadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Atan C., I. Evaluación Líneas de Conducción, Planta de Tratamineto Quitirrisí – Rebombeo San Antonio. Informe Técnico, AyA, 2001.

2. Atan C., I. Optimización del Acueducto de Liberia. Proyecto de Graduación EIC, UCR, 1999.

3. AyA. Normas para el Diseño de Proyectos de Abastecimiento de Agua Potable en Costa Rica.

4. Aymerich B., Á. Soluciones Técnico Constructivas para el Abatimiento del Nivel Freático como Medio de Estabilización del Deslizamiento de Puriscal. Proyecto de Graduación EIC, UCR, 2000.

5. Chow, V. T.; Maidment, D. y Mays, L. Hidrología Aplicada. Editorial MacGraw – Hill. Texas, EE.UU, 1988.

6. Cordero, F.; Mora, M.; Torres, L. Acueducto de Santiago de Puriscal: Optimización de las jornadas de bombeo. Informe Final de Taller de Diseño EIC, UCR, 2001.

7. Cordero, V. Apuntes curso Ingeniería Ambiental II. UCR, 1999.

8. De Ezpeleta A., M; Schaubeck M., C.; Soto C., G. Análisis y Prediseño por Golpe de Ariete en Condiciones Operacionales de los Principales Sistemas de Bombeo del Acueducto de Santiagode Puriscal. Informe Final de Taller de Diseño EIC, UCR, 2002.

9. Fernández M., Á; Rojas E., M.; Vázquez B., I. Salud y Ambiente: Prácticas Domiciliares del Manejo de los Desechos Sólidos Ordinarios en Santiago de Puriscal. Proyecto de Graduación para Maestría en Salud Facultad de Medicina, UCR, 1995.

10. Fernández V., M. Análisis de Vulnerabilidad del Acueducto de Santiago de Puriscal. Proyecto de Graduación EIC, UCR, 1992.

11. González V., M. Deslizamiento de Puriscal. Análisis de Estabilidad y Soluciones. Proyecto de Graduación EIC, UCR, 1996.

12. Heras, R. Recursos Hidráulicos. Síntesis, Metodologías y Normas. Madrid. España, 1977.

13. Linsley, R.; Kohler, M.; Paulhus, J. Hidrología para Ingenieros. Editorial MacGraw Hill. 2da edición. México, 1988.

14. López C., R. Diseño de Acueductos y Alcantarillados. 2da edición. Alfaomega, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999.

15. Martínez C., A. Estudio de prefactibilidad para la disposición de las aguas servidas de la ciudad de Santiago de Puriscal. Proyecto de Graduación EIC, UCR, 1987.

16. Morera Á., M. Análisis del Sistema de Abastecimiento de agua de una subregion del Cantón de Puriscal. Proyecto de Graduación EIC, UCR, 1986.

17. Peraldo H., G. Amenaza de Deslizamientos, Sector Central del Cantón de Puriscal y Problemática de la Ciudad de Santiago. Proyecto de Graduación Escuela Centroamericana de Geología, UCR, 1996.

18. Rivera, N. Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas y su Importancia. Documento del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). Costa Rica, 1990.

19. Sotelo Á., G. Hidráulica General. Volumen 1. Fundamentos. Limusa Noriega, México 1990.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. http://curveexpert.webhop.biz/

Hyams, D. CurveExpert 1.3: A comprehensive curve fitting system for Windows. 2001.

2. http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt019.html

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

Organización Panamericana de la Salud

Organización Mundial de la Salud, 2000.

3. http://www.costaricamap.com/

Costa Rica Map, Hotel & Travel guide, 2003.

4. http://www.imn.ac.cr/

Instituto Meteorológico Nacional de C.R., 2002.

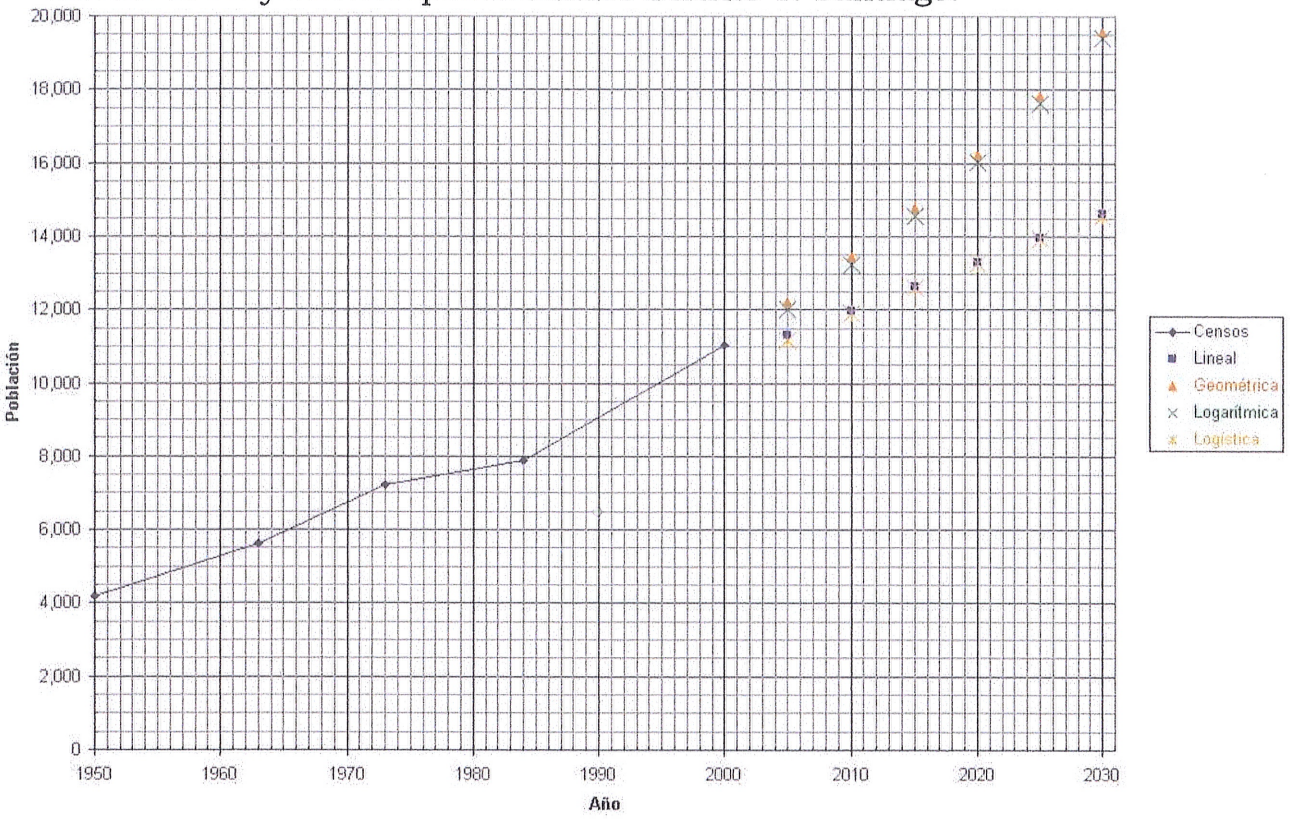
5. http://www.inbio.ac.cr/

Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), 2003.

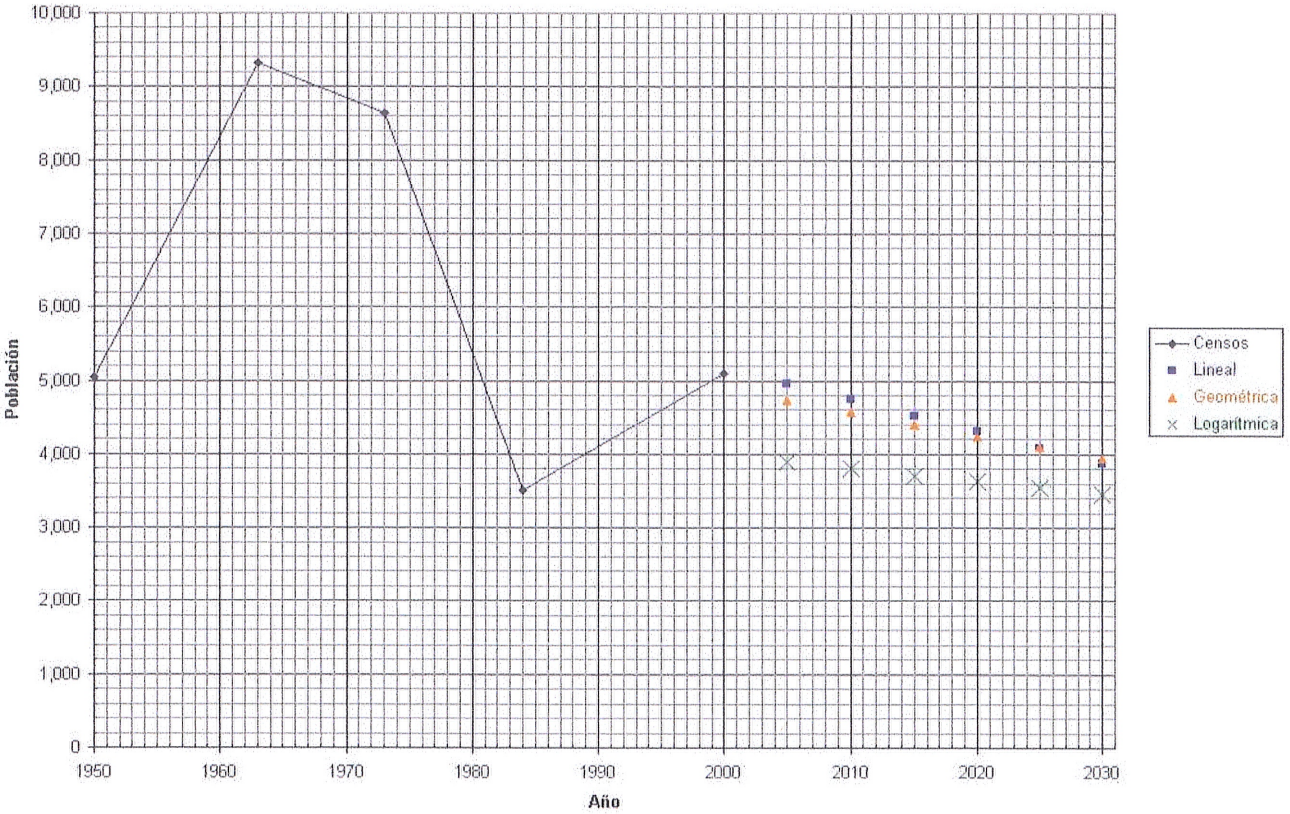
6. http://www.inec.go.cr/

Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2003.

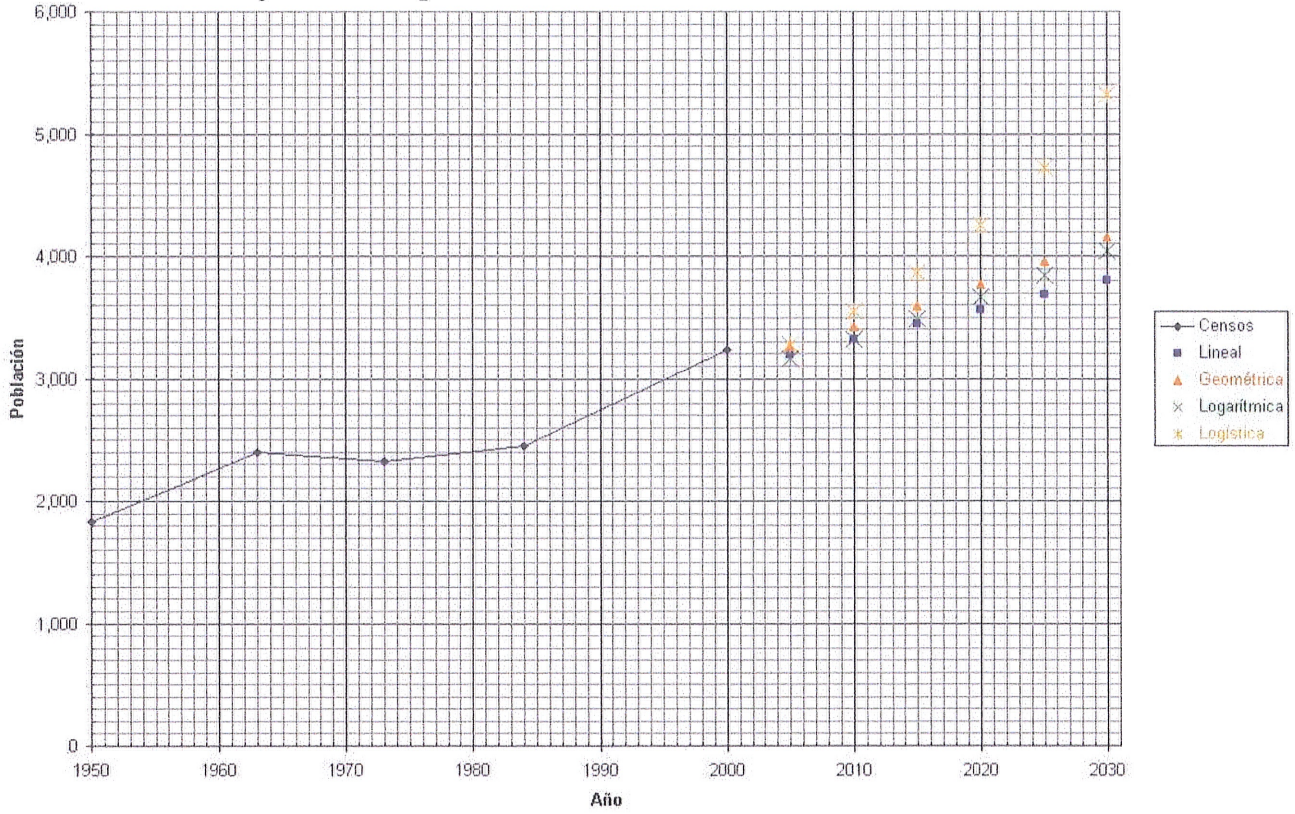
Anexo 1. Proyecciones poblacionales Distrito 1. Santiago.



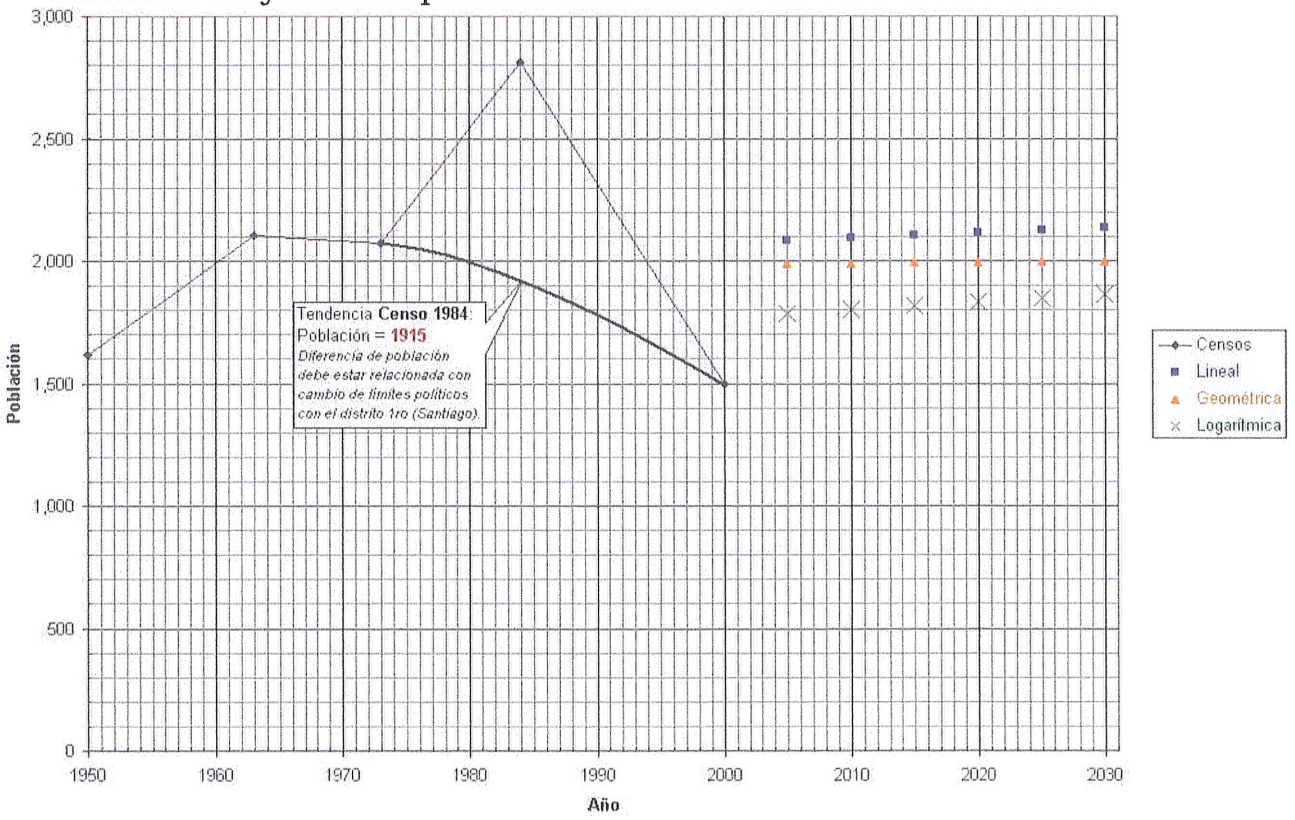
Anexo 2. Proyecciones poblacionales Distrito 2. Mercedes Sur.



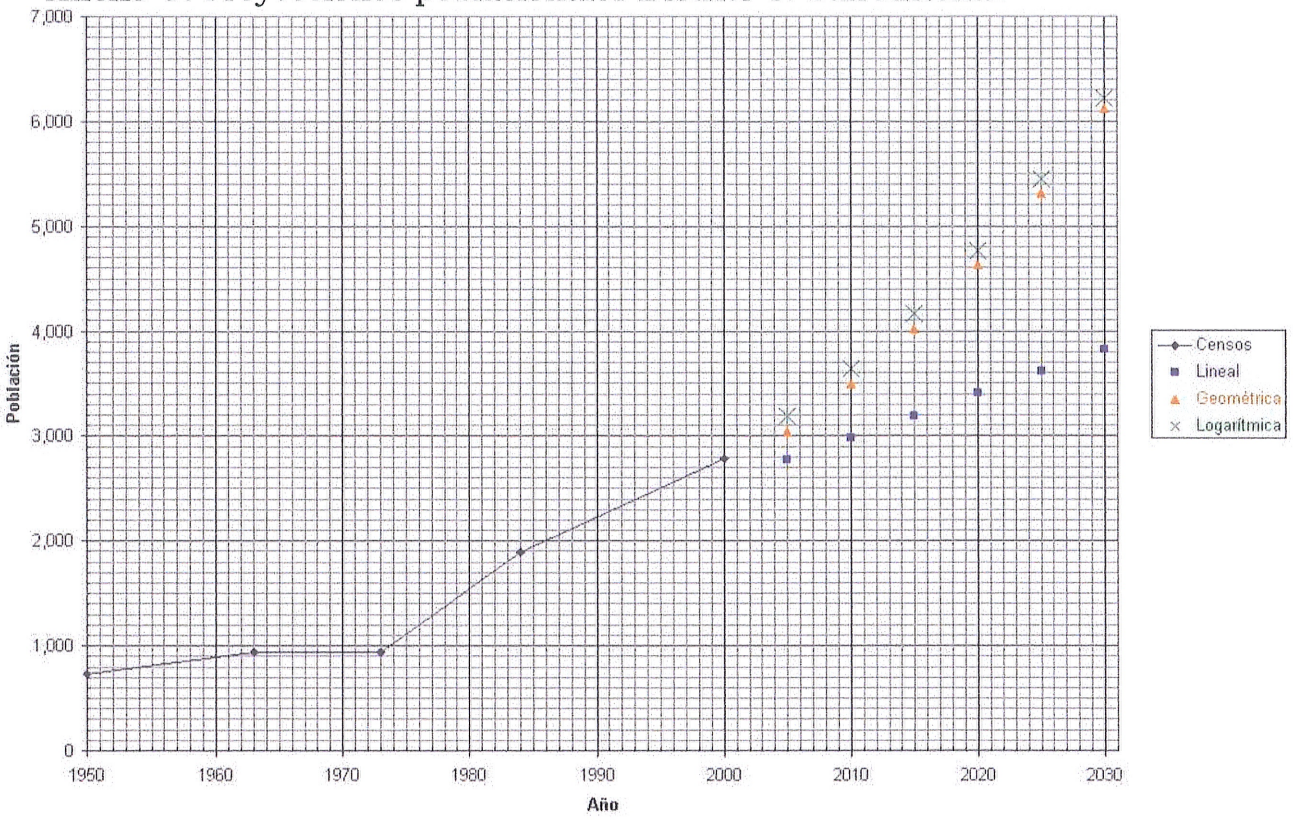
Anexo 3. Proyecciones poblacionales Distrito 3. Barbacoas.



Anexo 4. Proyecciones poblacionales Distrito 5. San Rafael.



Anexo 5. Proyecciones poblacionales Distrito 8. San Antonio.



Anexo 6. Aforos en l/s (AyA) y caudales promedio diarios en m^3/s (ICE).

Fecha	Río Negro			Río Tabarcia				Río Grande de Candelaria
	04	05	07	02	03	08	09	El Rey
05-May-73	-	-	-	87	-	-	-	3.33
08-May-73	54	-	-	87	-	-	-	3.33
09-Ago-73	492	-	-	548	-	-	-	32.00
02-Oct-73	1256	-	-	1269	-	-	-	69.20
27-Feb-74	84	-	-	138	-	-	-	6.20
14-Feb-75	98	-	-	194	-	-	-	7.18
23-May-77	57	-	-	86	-	-	-	20.40
09-Sep-77	142	-	-	125	-	-	-	12.30
16-Feb-79	73	-	-	125	-	-	-	8.40
28-Mar-79	80	-	-	125	-	-	-	6.22
24-Abr-79	147	-	-	125	-	-	-	11.90
13-Feb-80	94	-	-	125	-	-	-	7.43
17-Abr-80	175	-	-	96	-	-	-	3.02
13-May-80	50	-	-	90	-	-	-	4.55
20-Abr-81	50	-	-	94.5	-	-	-	6.24
24-Abr-81	71.5	-	-	94.5	-	-	-	6.24
03-Feb-82	100	-	76	117	-	63	-	8.30
31-Mar-82	100	-	76	96.3	-	55.2	-	4.67
07-May-82	100	-	76	-	-	-	47	13.30
19-Ene-83	109	-	-	160	-	109	-	7.23
15-Mar-83	85	-	-	88.5	-	41.5	-	4.64
12-May-83	52	-	38	67	-	42.7	-	4.13
05-Ene-84	52	-	38	-	-	84	-	4.13
24-Feb-84	85	-	70	114	-	60	-	7.34
11-May-84	64	-	40	-	-	40	-	10.70
18-Feb-85	52.7	77.4	-	68.5	94.4	-	-	7.20
25-Mar-85	44	52	-	48	73.5	-	-	4.90
20-May-85	46.1	56	-	44.2	71.3	-	-	7.56
03-Mar-86	46.1	56	-	58	101	-	-	5.73
04-Mar-86	56.3	77	-	58	101	-	-	5.73
07-Abr-86	43	63	-	81	94	-	-	4.13
28-Abr-86	47	47	-	41	65	-	-	3.77
03-Jun-86	122	174	-	110	152.6	-	-	14.50
07-Jul-86	125	158	-	109	131	-	-	18.00
11-Ago-86	71	94	-	58	92	-	-	8.75
09-Feb-87	44.51	64.86	-	43.6	84.67	-	-	3.65
23-Mar-87	47.84	50.66	-	36.18	68.2	-	-	4.32
28-Abr-87	33.81	44.15	-	33.12	57.12	-	-	3.88
28-May-87	43.34	60.96	-	51.17	86.17	-	-	10.50
25-Ago-87	143.13	152.24	-	121.65	165.93	-	-	16.30
18-Nov-87	150.24	209.74	-	119.9	197.39	-	-	15.90
08-Feb-88	50.42	64.57	-	47.5	75	-	-	5.18
07-Jun-88	134.07	200.63	-	91.8	116.62	-	-	10.09
04-Oct-88	-	667.68	-	560.21	760.4	-	-	73.00

...Continuación Anexo 6

Fecha	Río Negro			Río Tabarcia				Río Grande de Candelaria
	04	05	07	02	03	08	09	El Rey
26-Ene-89	-	90.08	-	88.5	151.25	-	-	7.17
06-Mar-89	62.26	86.54	-	52.87	67.39	-	-	5.83
25-Abr-89	40.18	53.88	-	44.81	58.54	-	-	3.77
29-May-89	37.36	55.63	-	43.11	64.64	-	-	12.20
19-Ene-90	143.77	113.98	-	129.8	176.34	-	-	11.60
26-Jun-90	143.77	113.98	-	81	104	-	-	19.00
20-Jul-90	161	192	-	144	200	-	-	34.40
05-Ene-94	-	113	-	-	172	-	-	9.70
22-Feb-94	-	81	-	-	97	-	-	4.90
06-Abr-94	-	58	-	-	70	-	-	4.18
06-Jun-94	-	66	-	-	81	-	-	7.01
04-Jul-94	-	52	-	-	67	-	-	5.99
17-Ago-94	-	51	-	-	64	-	-	13.40
29-Sep-94	-	160	-	-	154	-	-	65.80
30-Ene-95	-	88	-	-	112	-	-	8.97
21-Feb-95	-	68	-	-	86	-	-	6.95
28-Abr-95	-	121	-	-	159	-	-	15.50
09-Oct-95	-	1900	-	-	1710	-	-	179.00
16-Ene-96	-	103	-	-	172	-	-	8.93
20-Mar-96	-	59	-	-	100	-	-	5.18
08-Abr-96	-	48	-	-	82	-	-	5.17
19-Jul-96	-	260	-	-	314	-	-	38.50
16-Ago-96	-	294	-	-	331	-	-	119.00
26-Nov-96	-	539	-	-	594	-	-	47.80
07-Ene-97	-	216	-	-	594	-	-	14.80
04-Feb-97	-	98	-	-	157	-	-	9.34
04-Mar-97	-	92	-	-	119	-	-	6.81
04-Jun-97	-	214	-	-	234	-	-	22.00
21-Jul-97	-	102	-	-	117	-	-	9.57
05-Sep-97	-	101	-	-	106	-	-	7.30
03-Oct-97	-	450	-	-	432	-	-	44.00
05-Ene-98	-	450	-	-	207	-	-	13.90
08-Ene-98	-	186	-	-	207	-	-	13.90
26-Feb-98	-	90	-	-	129	-	-	7.05
24-Mar-98	-	65	-	-	93	-	-	5.05
24-Abr-98	-	50	-	-	74	-	-	4.36
30-Jun-98	-	271	-	-	370	-	-	22.80
07-Ago-98	-	122	-	-	186	-	-	24.60
03-Sep-98	-	237	-	-	238	-	-	50.00
24-Nov-98	-	368	-	-	529	-	-	78.20
07-Ene-99	-	180	-	-	259	-	-	14.70
02-Mar-99	-	101	-	-	126	-	-	6.48
07-Abr-99	-	70	-	-	84	-	-	3.61
01-Jun-99	-	465	-	-	415	-	-	23.30
01-Sep-99	-	894	-	-	728	-	-	118.00

...Continuación Anexo 6

Fecha	Río Negro			Río Tabarcia			Río Grande de Candelaria
	04	05	07	02	03	08	09	El Rey
12-Jul-00	-	133	-	-	182	-	-	20.50
19-Sep-00	-	604	-	-	512	-	-	60.00
09-Nov-00	-	183	-	-	262	-	-	37.20
08-Feb-01	-	70	-	-	112	-	-	9.64
04-May-01	-	38.95	-	56.9	-	-	-	3.21
14-May-01	-	47	-	-	55.3	-	-	3.60
05-Jun-01	-	47	-	276.3	-	-	-	21.60
08-Jun-01	-	312	-	276.3	-	-	-	21.60
03-Jul-01	-	86	-	111.57	-	-	-	11.10
13-Sep-01	-	648	-	-	550	-	-	58.40
08-Ene-02	-	648	-	-	173.76	-	-	9.30

Fuente: AyA (Dept. Estudios Básicos) e ICE (UENPySA).

Anexo 7. Series anuales de caudales mínimos promedio diarios.

Año	El Rey	Tabarcia	Negro
	m^3/s	l/s	l/s
1963	13.30	182.3	155.6
1964	3.50	68.7	45.1
1965	3.55	69.3	45.6
1966	4.20	76.9	53.0
1967	2.93	62.1	38.6
1968	3.85	72.8	49.0
1969	6.08	98.6	74.2
1970	6.56	104.2	79.6
1971	4.54	80.8	56.8
1972	4.15	76.3	52.4
1973	2.86	61.3	37.8
1974	4.52	80.6	56.6
1975	3.96	74.1	50.3
1976	4.50	80.3	56.4
1977	2.56	57.8	34.5
1978	3.02	63.2	39.7
1979	5.64	93.5	69.2
1980	2.81	60.7	37.3
1981	4.51	80.4	56.5
1982	4.28	77.8	53.9
1983	3.65	70.5	46.8
1984	4.99	86.0	61.9
1985	4.13	76.0	52.2
1986	3.42	67.8	44.2
1987	3.09	64.0	40.4
1988	3.05	63.5	40.0
1989	3.59	69.8	46.1
1990	4.38	78.9	55.0
1991	4.38	78.9	55.0
1992	2.79	60.5	37.1
1993	3.97	74.2	50.4
1994	2.99	62.8	39.3
1995	4.80	83.8	59.7
1996	3.96	74.1	50.3
1997	3.87	73.0	49.2
1998	3.05	63.5	40.0
1999	2.97	62.6	39.1
2000	4.05	75.1	51.3
2001	2.72	59.7	36.3
2002	1.83	49.4	26.2

Fuente: ICE (UENPySA) y el autor.

Anexo 8. Curvas de variación horaria y producción acumuladas.

Fecha y Hora		Demanda	Σ	Producción	Σ	Δ	
	10:34	$\%Q_{prom}$	$\%Vol_{diario}$	$\%Vol_{diario}$	$\%Vol_{diario}$		
26/09/2001 23:49:26	*0:00*	-	0.00%	-	0.00%	0.00%	
27/09/2001 00:01:26	*0:12*	61.2%	0.51%	0.83%	0.83%	0.32%	
27/09/2001 00:13:26	*0:24*	62.0%	1.03%	0.83%	1.67%	0.64%	
27/09/2001 00:25:26	*0:36*	62.8%	1.55%	0.83%	2.50%	0.95%	
27/09/2001 00:37:26	*0:48*	64.1%	2.08%	0.83%	3.33%	1.25%	
27/09/2001 00:49:26	*1:00*	64.9%	2.63%	0.83%	4.17%	1.54%	
27/09/2001 01:01:26	*1:12*	66.0%	3.18%	0.83%	5.00%	1.82%	
27/09/2001 01:13:26	*1:24*	67.6%	3.74%	0.83%	5.83%	2.09%	
27/09/2001 01:25:26	*1:36*	67.5%	4.30%	0.83%	6.67%	2.36%	
27/09/2001 01:37:26	*1:48*	67.4%	4.86%	0.83%	7.50%	2.64%	
27/09/2001 01:49:26	*2:00*	67.6%	5.43%	0.83%	8.33%	2.91%	
27/09/2001 02:01:26	*2:12*	68.3%	6.00%	0.83%	9.17%	3.17%	
27/09/2001 02:13:26	*2:24*	69.6%	6.58%	0.83%	10.00%	3.42%	
27/09/2001 02:25:26	*2:36*	69.6%	7.16%	0.83%	10.83%	3.68%	
27/09/2001 02:37:26	*2:48*	69.4%	7.73%	0.83%	11.67%	3.93%	
27/09/2001 02:49:26	*3:00*	71.0%	8.33%	0.83%	12.50%	4.17%	
27/09/2001 03:01:26	*3:12*	70.7%	8.92%	0.83%	13.33%	4.42%	
27/09/2001 03:13:26	*3:24*	67.9%	9.48%	0.83%	14.17%	4.69%	
27/09/2001 03:25:26	*3:36*	64.1%	10.02%	0.83%	15.00%	4.98%	
27/09/2001 03:37:26	*3:48*	61.7%	10.53%	0.83%	15.83%	5.30%	
27/09/2001 03:49:26	*4:00*	63.5%	11.06%	0.83%	16.67%	5.61%	
27/09/2001 04:01:26	*4:12*	64.1%	11.59%	0.83%	17.50%	5.91%	
27/09/2001 04:13:26	*4:24*	67.2%	12.15%	0.83%	18.33%	6.18%	
27/09/2001 04:25:26	*4:36*	70.4%	12.74%	0.83%	19.17%	6.43%	
27/09/2001 04:37:26	*4:48*	70.3%	13.33%	0.83%	20.00%	6.67%	
27/09/2001 04:49:26	*5:00*	72.5%	13.93%	0.83%	20.83%	6.90%	
27/09/2001 05:01:26	*5:12*	77.2%	14.57%	0.83%	21.67%	7.09%	
27/09/2001 05:13:26	*5:24*	89.5%	15.32%	0.83%	22.50%	7.18%	**máximo**
27/09/2001 05:25:26	*5:36*	102.8%	16.18%	0.83%	23.33%	7.16%	
27/09/2001 05:37:26	*5:48*	112.3%	17.11%	0.83%	24.17%	7.06%	
27/09/2001 05:49:26	*6:00*	129.9%	18.19%	0.83%	25.00%	6.81%	
27/09/2001 06:01:26	*6:12*	150.8%	19.45%	0.83%	25.83%	6.38%	
27/09/2001 06:13:26	*6:24*	174.7%	20.91%	0.83%	26.67%	5.76%	
27/09/2001 06:25:26	*6:36*	193.9%	22.52%	0.83%	27.50%	4.98%	
27/09/2001 06:37:26	*6:48*	188.9%	24.10%	0.83%	28.33%	4.24%	
27/09/2001 06:49:26	*7:00*	167.1%	25.49%	0.83%	29.17%	3.68%	
27/09/2001 07:01:26	*7:12*	151.2%	26.75%	0.83%	30.00%	3.25%	
27/09/2001 07:25:26	*7:36*	148.1%	29.22%	1.67%	31.67%	2.45%	
27/09/2001 08:01:26	*8:12*	151.1%	32.99%	2.50%	34.17%	1.17%	
27/09/2001 08:49:26	*9:00*	155.7%	38.18%	3.33%	37.50%	-0.68%	
27/09/2001 09:01:26	*9:12*	157.2%	39.49%	0.83%	38.33%	-1.16%	
27/09/2001 09:25:26	*9:36*	172.6%	42.37%	1.67%	40.00%	-2.37%	
27/09/2001 10:25:26	*10:36*	192.3%	50.38%	4.17%	44.17%	-6.22%	
27/09/2001 10:37:26	*10:48*	204.2%	52.09%	0.83%	45.00%	-7.09%	
27/09/2001 11:01:26	*11:12*	196.9%	55.37%	1.67%	46.67%	-8.70%	

...Continuación Anexo 8

Fecha y Hora	10:34	Demanda	Σ	Producción	Σ	Δ	
		$\%Q_{prom}$	$\%Vol_{diario}$	$\%Vol_{diario}$	$\%Vol_{diario}$		
27/09/2001 11:13:26	11:24	180.5%	56.87%	0.83%	47.50%	-9.37%	
27/09/2001 11:25:26	11:36	175.1%	58.33%	0.83%	48.33%	-10.00%	
27/09/2001 11:37:26	11:48	167.1%	59.72%	0.83%	49.17%	-10.56%	
27/09/2001 11:49:26	12:00	155.5%	61.02%	0.83%	50.00%	-11.02%	
27/09/2001 12:01:26	12:12	136.6%	62.16%	0.83%	50.83%	-11.33%	
27/09/2001 12:13:26	12:24	128.1%	63.23%	0.83%	51.67%	-11.56%	
27/09/2001 12:25:26	12:36	128.6%	64.30%	0.83%	52.50%	-11.80%	
27/09/2001 12:37:26	12:48	129.6%	65.38%	0.83%	53.33%	-12.04%	
27/09/2001 12:49:26	13:00	132.1%	66.48%	0.83%	54.17%	-12.31%	
27/09/2001 13:01:26	13:12	128.6%	67.55%	0.83%	55.00%	-12.55%	
27/09/2001 13:13:26	13:24	127.7%	68.61%	0.83%	55.83%	-12.78%	
27/09/2001 13:25:26	13:36	129.3%	69.69%	0.83%	56.67%	-13.02%	
27/09/2001 13:37:26	13:48	126.3%	70.74%	0.83%	57.50%	-13.24%	
27/09/2001 13:49:26	14:00	115.9%	71.71%	0.83%	58.33%	-13.38%	
27/09/2001 14:01:26	14:12	110.3%	72.63%	0.83%	59.17%	-13.46%	
27/09/2001 14:13:26	14:24	109.7%	73.54%	0.83%	60.00%	-13.54%	
27/09/2001 14:25:26	14:36	107.3%	74.44%	0.83%	60.83%	-13.60%	
27/09/2001 14:37:26	14:48	104.4%	75.31%	0.83%	61.67%	-13.64%	
27/09/2001 14:49:26	15:00	109.1%	76.22%	0.83%	62.50%	-13.72%	
27/09/2001 15:01:26	15:12	115.4%	77.18%	0.83%	63.33%	-13.84%	
27/09/2001 15:13:26	15:24	111.6%	78.11%	0.83%	64.17%	-13.94%	
27/09/2001 15:25:26	15:36	111.0%	79.03%	0.83%	65.00%	-14.03%	
27/09/2001 15:37:26	15:48	112.3%	79.97%	0.83%	65.83%	-14.14%	
27/09/2001 15:49:26	16:00	111.8%	80.90%	0.83%	66.67%	-14.23%	mínimo
27/09/2001 16:01:26	16:12	86.0%	81.62%	0.83%	67.50%	-14.12%	
27/09/2001 16:13:26	16:24	60.9%	82.12%	0.83%	68.33%	-13.79%	
27/09/2001 16:25:26	16:36	58.1%	82.61%	0.83%	69.17%	-13.44%	
27/09/2001 16:37:26	16:48	55.8%	83.07%	0.83%	70.00%	-13.07%	
27/09/2001 16:49:26	17:00	58.3%	83.56%	0.83%	70.83%	-12.73%	
27/09/2001 17:01:26	17:12	62.8%	84.08%	0.83%	71.67%	-12.42%	
27/09/2001 17:13:26	17:24	69.0%	84.66%	0.83%	72.50%	-12.16%	
27/09/2001 17:25:26	17:36	72.0%	85.26%	0.83%	73.33%	-11.92%	
27/09/2001 17:37:26	17:48	74.3%	85.88%	0.83%	74.17%	-11.71%	
27/09/2001 17:49:26	18:00	80.7%	86.55%	0.83%	75.00%	-11.55%	
27/09/2001 18:01:26	18:12	75.0%	87.17%	0.83%	75.83%	-11.34%	
27/09/2001 18:13:26	18:24	63.9%	87.71%	0.83%	76.67%	-11.04%	
27/09/2001 18:25:26	18:36	61.9%	88.22%	0.83%	77.50%	-10.72%	
27/09/2001 18:37:26	18:48	60.0%	88.72%	0.83%	78.33%	-10.39%	
27/09/2001 18:49:26	19:00	58.0%	89.21%	0.83%	79.17%	-10.04%	
27/09/2001 19:01:26	19:12	56.0%	89.67%	0.83%	80.00%	-9.67%	
27/09/2001 19:13:26	19:24	54.1%	90.12%	0.83%	80.83%	-9.29%	
27/09/2001 19:25:26	19:36	52.1%	90.56%	0.83%	81.67%	-8.89%	
27/09/2001 19:37:26	19:48	50.1%	90.98%	0.83%	82.50%	-8.48%	
27/09/2001 19:49:26	20:00	48.2%	91.38%	0.83%	83.33%	-8.04%	
27/09/2001 20:01:26	20:12	46.2%	91.76%	0.83%	84.17%	-7.60%	

...Continuación Anexo 8

Fecha y Hora	*10:34*	Demanda	Σ	Producción	Σ	Δ
		$\%Q_{prom}$	$\%Vol_{diario}$	$\%Vol_{diario}$	$\%Vol_{diario}$	
27/09/2001 20:37:26	***20:48***	44.7%	92.88%	2.50%	86.67%	-6.21%
27/09/2001 22:37:26	***22:48***	50.6%	97.09%	8.33%	95.00%	-2.09%
27/09/2001 22:49:26	***23:00***	57.1%	97.57%	0.83%	95.83%	-1.74%
27/09/2001 23:01:26	***23:12***	57.3%	98.05%	0.83%	96.67%	-1.38%
27/09/2001 23:13:26	***23:24***	58.2%	98.53%	0.83%	97.50%	-1.03%
27/09/2001 23:25:26	***23:36***	58.5%	99.02%	0.83%	98.33%	-0.69%
27/09/2001 23:37:26	***23:48***	58.1%	99.50%	0.83%	99.17%	-0.34%
27/09/2001 23:49:26	***0:00***	59.5%	100.00%	0.83%	100.00%	0.00%
						21.4%

Vol_{diario}

Anexo 9. Presiones actuales en los nudos durante la hora pico (11:00).

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-90	995.00	1137.93	142.65	0.184	500.73	203.94
J-132	1000.00	1138.28	138.01	0.090	500.84	203.89
J-125	1013.00	1138.32	125.07	0.695	500.85	203.81
J-164	1105.00	1156.51	51.41	0.556	501.02	203.17
J-478	1035.00	1141.00	105.78	0.695	501.06	203.65
J-436	970.00	567.15	-402.03	0.195	501.16	204.28
J-435	950.00	541.53	-407.64	0.153	501.17	204.34
J-434	940.00	526.00	-413.16	0.188	501.20	204.38
J-437	990.00	613.64	-375.60	0.181	501.21	204.23
Reducción 02	1070.00	1155.15	84.98	1.389	501.25	203.42
J-438	1000.00	649.43	-349.87	0.142	501.25	204.20
J-433	930.00	507.89	-421.26	0.208	501.25	204.44
J-159	1115.00	1156.54	41.46	0.973	501.27	203.11
J-177	1090.00	1156.54	66.41	0.167	501.28	203.01
J-12	1055.00	1156.33	101.13	0.212	501.30	203.48
J-432	920.00	500.64	-418.51	0.181	501.31	204.45
J-254	1148.00	1128.44	-19.52	1.772	501.32	202.14
J-431	910.00	497.15	-412.02	0.219	501.37	204.41
J-216	1065.00	1155.51	90.33	0.115	501.37	203.47
J-439	1010.00	796.56	-213.01	0.118	501.37	204.09
J-157	1120.00	1156.63	36.56	0.417	501.37	203.10
J-171	1125.00	1156.63	31.57	0.149	501.38	203.22
J-83	1080.00	1155.53	75.38	0.382	501.39	203.41
J-218	1080.00	1155.86	75.71	0.153	501.40	203.41
J-156	1120.00	1156.69	36.61	0.973	501.41	203.11
J-172	1130.00	1156.68	26.63	0.191	501.41	203.22
J-22	900.00	496.39	-402.80	0.129	501.42	204.34
J-440	1030.00	891.70	-138.02	0.094	501.43	204.02
J-10	1080.00	1156.34	76.18	0.868	501.45	203.47
J-11	1070.00	1156.33	86.16	0.097	501.46	203.51
J-138	1103.00	1157.35	54.24	0.122	501.48	203.27
J-54	1087.51	1155.87	68.22	0.417	501.48	203.37
J-56	1086.50	1155.87	69.23	0.333	501.48	203.42
J-55	1085.49	1155.87	70.23	0.059	501.49	203.45
J-441	1050.00	1011.54	-38.38	0.101	501.50	203.93
J-16	1070.00	1156.29	86.12	0.452	501.52	203.69
J-142	1101.00	1157.34	56.23	0.006	501.55	203.30
J-139	1101.50	1157.35	55.74	0.344	501.56	203.26
J-141	1101.00	1157.34	56.23	0.028	501.57	203.29
J-140	1100.00	1157.34	57.23	0.007	501.57	203.31
J-53	1087.50	1156.40	68.77	0.625	501.57	203.35
J-8	1084.02	1156.40	72.23	1.355	501.58	203.45

...Continuación Anexo 9

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
Reducción 04	1060.00	1154.90	94.71	0.090	501.59	203.87
J-13	1080.00	1156.31	76.15	1.007	501.59	203.55
J-145	1100.84	1157.25	56.30	0.108	501.61	203.26
J-217	1070.00	1156.28	86.11	0.261	501.61	203.75
J-191	1068.00	1154.99	86.82	0.038	501.63	203.82
J-255	1150.00	1130.63	-19.33	2.675	501.64	202.23
J-150	1121.33	1157.55	36.15	1.042	501.65	203.10
J-193	1121.06	1157.35	36.21	0.229	501.65	203.13
J-188	1068.00	1154.99	86.82	0.135	501.66	203.83
J-136	1100.05	1157.35	57.18	0.660	501.66	203.24
J-143	1097.62	1157.25	59.51	0.274	501.67	203.29
J-52	1096.85	1157.18	60.21	0.695	501.67	203.34
J-1	1094.76	1156.80	61.91	0.660	501.68	203.44
J-258	1150.00	1135.07	-14.90	0.938	501.69	202.32
J-25	1094.10	1156.60	62.37	0.521	501.69	203.53
J-19	1080.00	1155.64	75.49	0.347	501.71	203.71
J-256	1150.00	1129.95	-20.01	0.323	501.71	202.13
J-257	1150.00	1130.63	-19.33	0.174	501.72	202.26
J-3	1070.00	1155.09	84.92	0.729	501.73	203.82
J-194	1123.32	1158.19	34.80	0.556	501.75	203.13
J-20	1080.00	1155.53	75.38	0.013	501.75	203.70
J-202	1095.00	1156.69	61.57	0.019	501.75	203.56
J-199	1090.00	1156.64	66.51	0.011	501.75	203.63
J-135	1101.76	1158.18	56.31	0.521	501.76	203.23
Reducción 03	1070.00	1154.94	84.77	0.903	501.76	203.89
J-51	1101.32	1157.96	56.52	0.347	501.77	203.33
J-23	1060.00	1154.88	94.69	0.347	501.77	203.93
J-27	1101.55	1157.14	55.48	0.333	501.78	203.43
J-30	1090.00	1156.61	66.48	0.108	501.78	203.65
J-251	1100.00	1157.14	57.03	0.045	501.78	203.46
J-29	1090.00	1156.64	66.51	0.063	501.79	203.62
J-31	1090.00	1156.59	66.45	0.299	501.79	203.71
J-26	1099.61	1156.75	57.02	0.486	501.79	203.52
J-448	1150.00	1142.24	-7.75	0.184	501.79	202.35
J-200	1095.00	1156.69	61.57	0.195	501.80	203.57
J-28	1090.00	1156.65	66.51	0.299	501.80	203.61
J-40	1090.00	1156.60	66.46	0.118	501.81	203.67
J-451	1160.00	1148.51	-11.47	0.729	501.84	202.43
J-38	1090.00	1156.58	66.45	0.236	501.84	203.77
J-203	1095.00	1156.69	61.56	0.052	501.85	203.56
J-196	1113.36	1160.23	46.78	0.344	501.85	203.22
J-195	1107.69	1159.73	51.93	1.042	501.86	203.32

...Continuación Anexo 9

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-174	1121.01	1158.32	37.23	0.292	501.86	203.12
J-250	1121.01	1161.05	39.96	0.834	501.87	203.12
J-42	1085.00	1156.59	71.45	0.056	501.87	203.72
J-259	1140.00	1118.63	-21.33	0.417	501.87	202.32
J-41	1085.00	1156.59	71.45	0.045	501.87	203.66
J-44	1102.09	1157.28	55.08	0.452	501.88	203.42
J-43	1097.60	1156.77	59.05	0.292	501.89	203.51
J-148	1115.00	1159.32	44.24	0.069	501.89	203.22
J-180	1120.00	1161.04	40.96	0.066	501.92	203.13
J-222	1085.00	1156.63	71.49	0.382	501.93	203.61
J-201	1124.98	974.54	-150.14	0.316	501.93	202.96
J-221	1090.00	1156.63	66.50	0.212	501.93	203.54
J-182	1094.81	1156.63	61.70	0.201	501.93	203.50
J-149	1115.00	1159.33	44.24	0.035	501.95	203.18
J-133	1115.00	1159.33	44.24	0.212	501.95	203.21
J-49	1106.10	1159.33	53.13	0.417	501.97	203.31
J-244	1128.78	975.98	-152.49	1.320	501.97	202.88
J-447	1100.00	1156.88	56.76	0.799	501.98	203.41
J-450	1140.00	1092.04	-47.86	1.007	501.99	202.69
J-47	1096.42	1156.47	59.93	0.167	501.99	203.50
J-190	1130.00	973.67	-156.01	0.139	502.04	203.11
J-187	1130.00	973.70	-155.98	0.486	502.04	202.99
J-204	1098.00	1155.80	57.69	0.309	502.04	203.49
J-446	1100.00	1155.87	55.75	0.764	502.08	203.39
J-205	1100.49	1155.20	54.60	0.160	502.10	203.48
J-207	1100.00	1155.80	55.69	0.195	502.12	203.77
J-212	1105.00	1154.18	49.08	0.299	502.14	203.59
J-449	1100.00	749.64	-349.65	1.355	502.14	202.77
J-238	1095.00	964.53	-130.21	0.309	502.17	203.10
J-209	1104.54	1154.39	49.75	0.236	502.18	203.48
J-213	1105.00	1154.17	49.08	0.181	502.18	203.75
J-197	1130.00	973.60	-156.08	0.212	502.19	203.00
J-445	1100.00	1154.92	54.80	0.834	502.19	203.41
J-211	1100.49	1154.20	53.60	1.146	502.20	203.57
J-210	1115.00	1154.12	39.04	0.903	502.28	203.86
J-235	1100.39	1153.99	53.50	2.154	502.29	203.48
J-247	1075.00	607.42	-466.64	0.486	502.33	202.91
J-226	1080.00	964.43	-115.34	0.215	502.34	203.00
J-237	1070.00	964.57	-105.21	1.806	502.34	203.26
J-246	1065.00	608.03	-456.05	1.389	502.35	202.70
J-224	1065.00	964.53	-100.27	0.764	502.40	203.17
J-248	1055.00	587.85	-466.21	1.285	502.44	202.74

...Continuación Anexo 9

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-455	1070.00	1152.80	82.63	0.160	502.45	203.42
J-249	1040.00	586.58	-452.50	0.382	502.52	202.59
J-241	1095.00	1153.61	58.49	1.077	502.55	203.57
J-453	1065.00	1152.84	87.66	0.417	502.57	203.44
J-240	1095.00	1153.57	58.45	0.226	502.60	203.61
J-454	1060.00	1152.83	92.65	0.083	502.62	203.42
J-452	1090.00	1153.53	63.41	0.347	502.64	203.56
J-462	1050.00	951.91	-97.89	0.695	502.67	203.40
J-232	1085.00	1153.52	68.38	0.486	502.68	203.60
J-444	1080.00	1151.70	71.55	0.417	502.73	203.63
J-225	1030.00	964.49	-65.38	0.243	502.74	202.91
J-245	1010.00	581.16	-427.97	0.660	502.77	202.82
J-443	1070.00	1147.50	77.35	0.660	502.80	203.69
J-463	1000.00	597.33	-401.86	0.521	502.91	202.85
J-239	1020.00	860.76	-158.91	0.556	502.99	203.50
J-229	1050.00	1140.99	90.81	0.087	503.05	203.86
J-230	1060.00	1141.00	80.83	0.903	503.10	203.77
J-458	980.00	597.51	-381.72	1.077	503.17	203.19
J-231	1070.00	1140.47	70.33	0.115	503.18	203.78
J-234	1075.00	1140.97	65.84	0.198	503.20	203.83
J-456	985.00	605.77	-378.46	0.066	503.26	203.47
J-459	975.00	597.48	-376.76	0.139	503.28	203.15
J-464	970.00	982.83	12.81	1.424	503.40	203.42
J-460	940.00	921.84	-18.12	1.077	503.94	202.86
J-461	920.00	921.55	1.54	0.087	504.00	202.90

Anexo 10. Presiones actuales en los nudos durante la hora valle (22:00).

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-90	995.00	1162.66	167.32	0.057	500.73	203.94
J-132	1000.00	1162.70	162.37	0.028	500.84	203.89
J-125	1013.00	1162.70	149.40	0.216	500.85	203.81
J-164	1105.00	1164.81	59.69	0.173	501.02	203.17
J-478	1035.00	1163.01	127.75	0.216	501.06	203.65
J-436	970.00	1097.08	126.82	0.060	501.16	204.28
J-435	950.00	1094.14	143.85	0.048	501.17	204.34
J-434	940.00	1092.35	152.05	0.058	501.20	204.38
J-437	990.00	1102.42	112.19	0.056	501.21	204.23
Reducción 02	1070.00	1164.64	94.45	0.432	501.25	203.42
J-438	1000.00	1106.53	106.32	0.044	501.25	204.20
J-433	930.00	1090.27	159.95	0.065	501.25	204.44
J-159	1115.00	1164.81	49.71	0.302	501.27	203.11
J-177	1090.00	1164.81	74.66	0.052	501.28	203.01
J-12	1055.00	1164.77	109.55	0.066	501.30	203.48
J-432	920.00	1089.44	169.10	0.056	501.31	204.45
J-254	1148.00	1161.69	13.66	0.551	501.32	202.14
J-431	910.00	1089.04	178.68	0.068	501.37	204.41
J-216	1065.00	1164.68	99.48	0.036	501.37	203.47
J-439	1010.00	1123.43	113.20	0.037	501.37	204.09
J-157	1120.00	1164.82	44.73	0.130	501.37	203.10
J-171	1125.00	1164.82	39.74	0.046	501.38	203.22
J-83	1080.00	1164.68	84.51	0.119	501.39	203.41
J-218	1080.00	1164.72	84.55	0.048	501.40	203.41
J-156	1120.00	1164.83	44.74	0.302	501.41	203.11
J-172	1130.00	1164.83	34.76	0.059	501.41	203.22
J-22	900.00	1088.95	188.57	0.040	501.42	204.34
J-440	1030.00	1134.36	104.15	0.029	501.43	204.02
J-10	1080.00	1164.77	84.60	0.270	501.45	203.47
J-11	1070.00	1164.77	94.58	0.030	501.46	203.51
J-138	1103.00	1164.90	61.77	0.038	501.48	203.27
J-54	1087.51	1164.72	77.05	0.130	501.48	203.37
J-56	1086.50	1164.72	78.06	0.104	501.48	203.42
J-55	1085.49	1164.72	79.07	0.018	501.49	203.45
J-441	1050.00	1148.13	97.93	0.031	501.50	203.93
J-16	1070.00	1164.77	94.58	0.140	501.52	203.69
J-142	1101.00	1164.90	63.77	0.002	501.55	203.30
J-139	1101.50	1164.90	63.27	0.107	501.56	203.26
J-141	1101.00	1164.90	63.77	0.009	501.57	203.29
J-140	1100.00	1164.90	64.76	0.002	501.57	203.31
J-53	1087.50	1164.78	77.12	0.194	501.57	203.35
J-8	1084.02	1164.78	80.60	0.421	501.58	203.45
Reducción 04	1060.00	1164.60	104.39	0.028	501.59	203.87
J-13	1080.00	1164.77	84.60	0.313	501.59	203.55
J-145	1100.84	1164.88	63.91	0.033	501.61	203.26

...Continuación Anexo 10

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-217	1070.00	1164.77	94.58	0.081	501.61	203.75
J-191	1068.00	1164.61	96.41	0.012	501.63	203.82
J-255	1150.00	1161.94	11.91	0.831	501.64	202.23
J-150	1121.33	1164.93	43.51	0.324	501.65	203.10
J-193	1121.06	1164.90	43.75	0.071	501.65	203.13
J-188	1068.00	1164.61	96.41	0.042	501.66	203.83
J-136	1100.05	1164.90	64.72	0.205	501.66	203.24
J-143	1097.62	1164.88	67.13	0.085	501.67	203.29
J-52	1096.85	1164.87	67.89	0.216	501.67	203.34
J-1	1094.76	1164.82	69.92	0.205	501.68	203.44
J-258	1150.00	1162.45	12.42	0.292	501.69	202.32
J-25	1094.10	1164.79	70.55	0.162	501.69	203.53
J-19	1080.00	1164.68	84.51	0.108	501.71	203.71
J-256	1150.00	1161.86	11.84	0.100	501.71	202.13
J-257	1150.00	1161.94	11.91	0.054	501.72	202.26
J-3	1070.00	1164.62	94.43	0.227	501.73	203.82
J-194	1123.32	1165.00	41.60	0.173	501.75	203.13
J-20	1080.00	1164.67	84.50	0.004	501.75	203.70
J-202	1095.00	1164.80	69.66	0.006	501.75	203.56
J-199	1090.00	1164.79	74.64	0.003	501.75	203.63
J-135	1101.76	1165.00	63.11	0.162	501.76	203.23
Reducción 03	1070.00	1164.60	94.41	0.281	501.76	203.89
J-51	1101.32	1164.97	63.52	0.108	501.77	203.33
J-23	1060.00	1164.60	104.39	0.108	501.77	203.93
J-27	1101.55	1164.86	63.18	0.104	501.78	203.43
J-30	1090.00	1164.79	74.64	0.033	501.78	203.65
J-251	1100.00	1164.86	64.73	0.014	501.78	203.46
J-29	1090.00	1164.79	74.64	0.019	501.79	203.62
J-31	1090.00	1164.78	74.63	0.093	501.79	203.71
J-26	1099.61	1164.81	65.07	0.151	501.79	203.52
J-448	1150.00	1163.27	13.24	0.057	501.79	202.35
J-200	1095.00	1164.80	69.66	0.060	501.80	203.57
J-28	1090.00	1164.79	74.64	0.093	501.80	203.61
J-40	1090.00	1164.79	74.64	0.037	501.81	203.67
J-451	1160.00	1163.99	3.98	0.227	501.84	202.43
J-38	1090.00	1164.78	74.63	0.073	501.84	203.77
J-203	1095.00	1164.80	69.66	0.016	501.85	203.56
J-196	1113.36	1165.26	51.79	0.107	501.85	203.22
J-195	1107.69	1165.19	57.39	0.324	501.86	203.32
J-174	1121.01	1165.02	43.92	0.091	501.86	203.12
J-250	1121.01	1165.36	44.27	0.259	501.87	203.12
J-42	1085.00	1164.79	79.62	0.017	501.87	203.72
J-259	1140.00	1160.56	20.52	0.130	501.87	202.32
J-41	1085.00	1164.79	79.62	0.014	501.87	203.66
J-44	1102.09	1164.87	62.65	0.140	501.88	203.42

...Continuación Anexo 10

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-43	1097.60	1164.81	67.07	0.091	501.89	203.51
J-148	1115.00	1165.14	50.04	0.022	501.89	203.22
J-180	1120.00	1165.36	45.27	0.021	501.92	203.13
J-222	1085.00	1164.79	79.63	0.119	501.93	203.61
J-201	1124.98	1144.00	18.99	0.098	501.93	202.96
J-221	1090.00	1164.79	74.64	0.066	501.93	203.54
J-182	1094.81	1164.79	69.84	0.063	501.93	203.50
J-149	1115.00	1165.14	50.04	0.011	501.95	203.18
J-133	1115.00	1165.14	50.04	0.066	501.95	203.21
J-49	1106.10	1165.14	58.92	0.130	501.97	203.31
J-244	1128.78	1144.17	15.36	0.410	501.97	202.88
J-447	1100.00	1164.81	64.68	0.248	501.98	203.41
J-450	1140.00	1157.50	17.47	0.313	501.99	202.69
J-47	1096.42	1164.76	68.20	0.052	501.99	203.50
J-190	1130.00	1143.91	13.88	0.043	502.04	203.11
J-187	1130.00	1143.91	13.88	0.151	502.04	202.99
J-204	1098.00	1164.66	66.52	0.096	502.04	203.49
J-446	1100.00	1164.66	64.53	0.238	502.08	203.39
J-205	1100.49	1164.57	63.95	0.050	502.10	203.48
J-207	1100.00	1164.66	64.53	0.060	502.12	203.77
J-212	1105.00	1164.42	59.30	0.093	502.14	203.59
J-449	1100.00	1118.17	18.13	0.421	502.14	202.77
J-238	1095.00	1125.63	30.57	0.096	502.17	203.10
J-209	1104.54	1164.44	59.78	0.073	502.18	203.48
J-213	1105.00	1164.42	59.30	0.056	502.18	203.75
J-197	1130.00	1143.90	13.87	0.066	502.19	203.00
J-445	1100.00	1164.51	64.38	0.259	502.19	203.41
J-211	1100.49	1164.42	63.80	0.356	502.20	203.57
J-210	1115.00	1164.41	49.31	0.281	502.28	203.86
J-235	1100.39	1164.37	63.85	0.669	502.29	203.48
J-247	1075.00	1101.83	26.77	0.151	502.33	202.91
J-226	1080.00	1125.62	45.53	0.067	502.34	203.00
J-237	1070.00	1125.64	55.53	0.561	502.34	203.26
J-246	1065.00	1101.90	36.82	0.432	502.35	202.70
J-224	1065.00	1125.63	60.51	0.238	502.40	203.17
J-248	1055.00	1099.58	44.49	0.400	502.44	202.74
J-455	1070.00	1164.23	94.04	0.050	502.45	203.42
J-249	1040.00	1099.43	59.31	0.119	502.52	202.59
J-241	1095.00	1164.32	69.18	0.335	502.55	203.57
J-453	1065.00	1164.24	99.04	0.130	502.57	203.44
J-240	1095.00	1164.32	69.18	0.070	502.60	203.61
J-454	1060.00	1164.24	104.03	0.026	502.62	203.42
J-452	1090.00	1164.32	74.17	0.108	502.64	203.56
J-462	1050.00	1122.25	72.11	0.216	502.67	203.40
J-232	1085.00	1164.31	79.15	0.151	502.68	203.60

...Continuación Anexo 10

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-444	1080.00	1164.10	83.93	0.130	502.73	203.63
J-225	1030.00	1125.63	95.44	0.076	502.74	202.91
J-245	1010.00	1098.81	88.63	0.205	502.77	202.82
J-443	1070.00	1163.62	93.43	0.205	502.80	203.69
J-463	1000.00	1013.14	13.11	0.162	502.91	202.85
J-239	1020.00	1095.59	75.44	0.173	502.99	203.50
J-229	1050.00	1162.87	112.65	0.027	503.05	203.86
J-230	1060.00	1162.88	102.67	0.281	503.10	203.77
J-458	980.00	1013.16	33.09	0.335	503.17	203.19
J-231	1070.00	1162.82	92.63	0.036	503.18	203.78
J-234	1075.00	1162.87	87.70	0.062	503.20	203.83
J-456	985.00	1014.11	29.05	0.021	503.26	203.47
J-459	975.00	1013.16	38.08	0.043	503.28	203.15
J-464	970.00	986.52	16.49	0.443	503.40	203.42
J-460	940.00	979.52	39.44	0.335	503.94	202.86
J-461	920.00	979.48	59.36	0.027	504.00	202.90

Anexo 11. Tubería a añadir para corregir el sistema actual.

Tubo	Long.	Diám.	De Nudo			A Nudo		
	m	mm	Nombre	Long.	Lat.	Nombre	Long.	Lat.
Mejoras-95	265.4	50	PRV Cancelada 04	502.51	202.75	J-245	502.76	202.81
Mejoras-96	73.7	50	J-248	502.44	202.73	PRV Cancelada 04	502.51	202.75
Mejoras-98	201.8	50	PRV-24	502.16	202.75	J-246	502.35	202.69
Mejoras-99	27.6	50	J-449	502.14	202.76	PRV-24	502.16	202.75
Mejoras-107	91.6	50	J-456	503.26	203.47	Santa Cecilia	503.29	203.54
Mejora-669	83.2	50	J-247	502.32	202.91	J-226	502.34	202.99
Mejora-671	71.0	50	Común-481	502.84	202.81	J-245	502.76	202.81
Mejoras-692	109.7	50	J-440	501.43	204.01	J-441	501.49	203.92
Mejoras-693	102.7	50	J-440	501.43	204.01	J-439	501.37	204.08
Mejoras-695	50.1	50	J-438	501.25	204.20	J-437	501.20	204.22
Mejoras-697	64.7	50	J-436	501.16	204.27	J-435	501.17	204.33
Mejoras-699	83.9	50	J-434	501.19	204.37	J-433	501.25	204.43
Mejoras-700	60.2	50	J-433	501.25	204.43	J-432	501.31	204.44
Mejoras-701	68.0	50	J-432	501.31	204.44	J-431	501.36	204.40
Mejoras-702	94.9	50	J-431	501.36	204.40	J-22	501.42	204.33
Mejoras-703	97.7	50	Reducción 04	501.59	203.86	PRV-19	501.51	203.91
Mejoras-704	19.8	50	PRV-19	501.51	203.91	J-441	501.49	203.92
Mejoras-705	74.7	50	J-437	501.20	204.22	J-436	501.16	204.27
Mejoras-706	21.1	50	PRV-20	501.25	204.18	J-438	501.25	204.20
Mejoras-707	152.5	50	J-439	501.37	204.08	PRV-20	501.25	204.18
Mejoras-708	23.9	50	PRV-21	501.19	204.35	J-434	501.19	204.37
Mejoras-709	26.8	50	J-435	501.17	204.33	PRV-21	501.19	204.35
Mejoras-722	73.2	50	J-460	503.94	202.85	J-461	503.99	202.89
Mejoras-723	168.7	50	PRV Cancelada 02	503.85	202.98	J-460	503.94	202.85
Mejoras-724	237.7	50	J-464	503.39	203.41	PRV Cancelada 01	503.60	203.31
Mejoras-725	428.1	50	PRV Cancelada 01	503.60	203.31	PRV Cancelada 02	503.85	202.98
Mejoras-738	234.1	50	J-258	501.69	202.31	J-259	501.87	202.31
P-725	121.4	50	J-479	503.27	203.47	PRV-29	503.38	203.42
P-726	15.1	50	PRV-29	503.38	203.42	J-464	503.39	203.41
Mejoras-103	240.4	75	J-239	502.98	203.50	PRV-26	503.21	203.47
Mejoras-104	46.1	75	PRV-26	503.21	203.47	J-456	503.26	203.47
Mejoras-105	355.2	75	J-462	502.67	203.39	J-239	502.98	203.50
Mejoras-687	104.7	75	Junquillo Viejo	501.96	202.59	J-450	501.98	202.68
Mejoras-688	195.4	75	J-450	501.98	202.68	J-244	501.96	202.88
Mejoras-689	223.4	75	J-244	501.96	202.88	J-449	502.14	202.76
P-754	97.3	75	Común-481	502.84	202.81	J-463	502.91	202.84
P-758	141.7	75	J-225	502.73	202.90	Común-481	502.84	202.81
Mejoras-716	209.9	100	Junquillo Viejo	501.96	202.59	J-451	501.84	202.42
Mejoras-717	93.5	100	J-451	501.84	202.42	J-448	501.79	202.34
Mejoras-718	111.8	100	J-448	501.79	202.34	J-258	501.69	202.31
Mejora-719	109.2	100	J-258	501.69	202.31	J-255	501.63	202.22
Mejoras-720	353.2	100	J-255	501.63	202.22	J-254	501.32	202.13
Mejoras-735	29.2	150	J-150	501.65	203.10	J-193	501.65	203.12
Mejoras-736	501.8	150	Junquillo Viejo	501.96	202.59	J-482	501.87	203.08
Mejoras-737	103.7	150	J-194	501.74	203.12	J-150	501.65	203.10

Anexo 12. Válvulas reguladoras de presión a instalar para corregir el sistema actual.

Válvula	Elevación	Diámetro	Presión *m.c.a.*		$Q_{máx}$	Longitud	Latitud	Costo
	m	*mm*	*A.arriba*	*A.abajo*	*(FMH=2.04)*	*Lambert*	*Lambert*	*$*
PRV-13	**1113**	**200**	**52.5**	**21.6**	**7.27**	**501.85**	**203.19**	1,190.65
PRV-14	**1107**	**100**	**58.2**	**27.3**	**7.26**	**501.86**	**203.30**	552.89
PRV-19	1050	50	55.4	19.0	1.91	501.51	203.91	615.90
PRV-20	1000	50	67.7	23.0	1.59	501.25	204.18	615.90
PRV-21	945	50	77.5	26.0	0.92	501.19	204.35	615.90
PRV-22	**1120**	**125**	**42.0**	**15.0**	**6.93**	**501.85**	**203.15**	1,190.65
PRV-24	1100	50	63.1	22.0	4.20	502.16	202.75	615.90
PRV-26	985	75	99.8	35.0	4.54	503.21	203.47	615.90
PRV-27	1060	75	54.3	25.0	5.79	502.62	203.38	615.90
PRV-29	970	50	59.0	25.0	2.59	503.38	203.42	615.90
PRV-32	1055	50	63.3	22.0	2.33	502.42	202.72	615.90
PRV-35	1085	100	72.7	28.0	4.66	501.60	203.44	552.89
PRV-36	1088	100	70.4	25.0	4.73	501.59	203.34	552.89
PRV-37	1080	100	77.6	26.0	4.51	501.70	203.58	552.89
PRV-38	1080	50	76.7	26.0	1.96	502.74	203.63	615.90
PRV-39	1090	50	67.0	23.0	0.66	502.62	203.54	615.90
PRV-40	1080	100	76.1	35.0	14.01	502.27	203.33	552.89
PRV-41	1040	50	71.4	24.0	1.66	501.03	203.57	615.90
PRV-42	1035	75	73.5	25.0	5.12	502.71	202.93	615.90

Anexo 13. Presiones actuales en los nudos durante la hora pico (11:00), después de las medidas correctivas.

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-90	995.00	1058.57	63.44	0.18	500.73	203.94
J-132	1000.00	1058.92	58.80	0.09	500.84	203.89
J-125	1013.00	1058.96	45.87	0.70	500.85	203.81
J-164	1105.00	1140.17	35.09	0.56	501.02	203.17
J-478	1035.00	1061.63	26.58	0.70	501.06	203.65
J-436	970.00	1020.42	50.32	0.20	501.16	204.28
J-435	950.00	1019.69	69.55	0.15	501.17	204.34
J-434	940.00	970.85	30.79	0.19	501.20	204.38
J-437	990.00	1021.57	31.51	0.18	501.21	204.23
Reducción 02	1070.00	1111.68	41.60	1.39	501.25	203.42
J-438	1000.00	1022.55	22.51	0.14	501.25	204.20
J-433	930.00	970.38	40.30	0.21	501.25	204.44
J-159	1115.00	1140.19	25.14	0.97	501.27	203.11
J-177	1090.00	1140.19	50.09	0.17	501.28	203.01
J-12	1055.00	1112.88	57.76	0.21	501.30	203.48
J-432	920.00	970.20	50.10	0.18	501.31	204.45
J-254	1148.00	1162.69	14.66	1.77	501.32	202.14
J-431	910.00	970.11	59.98	0.22	501.37	204.41
J-216	1065.00	1112.04	46.95	0.12	501.37	203.47
J-439	1010.00	1062.43	52.33	0.12	501.37	204.09
J-157	1120.00	1140.29	20.25	0.42	501.37	203.10
J-171	1125.00	1140.28	15.25	0.15	501.38	203.22
J-83	1080.00	1112.06	31.99	0.38	501.39	203.41
J-218	1080.00	1112.39	32.33	0.15	501.40	203.41
J-156	1120.00	1140.34	20.30	0.97	501.41	203.11
J-172	1130.00	1140.34	15.30	0.19	501.41	203.22
J-22	900.00	970.08	69.94	0.13	501.42	204.34
J-440	1030.00	1065.17	35.10	0.09	501.43	204.02
J-10	1080.00	1112.88	32.81	0.87	501.45	203.47
J-11	1070.00	1112.88	42.79	0.10	501.46	203.51
J-138	1103.00	1137.68	34.61	0.12	501.48	203.27
J-54	1087.51	1112.40	24.84	0.42	501.48	203.37
J-56	1086.50	1112.40	25.84	0.33	501.48	203.42
J-55	1085.49	1112.40	26.85	0.06	501.49	203.45
J-441	1050.00	1068.39	18.36	0.10	501.50	203.93
J-16	1070.00	1112.84	42.75	0.45	501.52	203.69
J-142	1101.00	1137.67	36.60	0.01	501.55	203.30
J-139	1101.50	1137.68	36.10	0.34	501.56	203.26
J-141	1101.00	1137.67	36.60	0.03	501.57	203.29
J-140	1100.00	1137.67	37.60	0.01	501.57	203.31
J-53	1087.50	1112.93	25.38	0.63	501.57	203.35
J-8	1084.02	1112.94	28.86	1.36	501.58	203.45
Reducción 04	1060.00	1104.67	44.58	0.09	501.59	203.87
J-13	1080.00	1112.85	32.78	1.01	501.59	203.55

...Continuación Anexo 13

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-145	1100.84	1136.44	35.53	0.11	501.61	203.26
J-217	1070.00	1112.83	42.74	0.26	501.61	203.75
J-191	1068.00	1104.77	36.70	0.04	501.63	203.82
J-255	1150.00	1162.88	12.85	2.68	501.64	202.23
J-150	1121.33	1141.20	19.83	1.04	501.65	203.10
J-193	1121.06	1140.45	19.35	0.23	501.65	203.13
J-188	1068.00	1104.77	36.70	0.14	501.66	203.83
J-136	1100.05	1137.68	37.55	0.66	501.66	203.24
J-143	1097.62	1136.44	38.74	0.27	501.67	203.29
J-52	1096.85	1135.44	38.51	0.70	501.67	203.34
J-1	1094.76	1133.44	38.60	0.66	501.68	203.44
J-258	1150.00	1163.27	13.25	0.94	501.69	202.32
J-25	1094.10	1132.94	38.76	0.52	501.69	203.53
J-19	1080.00	1105.42	25.37	0.35	501.71	203.71
J-256	1150.00	1162.20	12.18	0.32	501.71	202.13
J-257	1150.00	1162.88	12.85	0.17	501.72	202.26
J-3	1070.00	1104.87	34.80	0.73	501.73	203.82
J-194	1123.32	1143.20	19.84	0.56	501.75	203.13
J-20	1080.00	1105.30	25.25	0.01	501.75	203.70
J-202	1095.00	1132.85	37.77	0.02	501.75	203.56
J-199	1090.00	1132.77	42.68	0.01	501.75	203.63
J-135	1101.76	1135.54	33.71	0.52	501.76	203.23
Reducción 03	1070.00	1104.72	34.65	0.90	501.76	203.89
J-51	1101.32	1134.93	33.54	0.35	501.77	203.33
J-23	1060.00	1104.65	44.56	0.35	501.77	203.93
J-27	1101.55	1133.47	31.85	0.33	501.78	203.43
J-30	1090.00	1132.74	42.65	0.11	501.78	203.65
J-251	1100.00	1133.47	33.40	0.05	501.78	203.46
J-29	1090.00	1132.77	42.68	0.06	501.79	203.62
J-31	1090.00	1132.71	42.63	0.30	501.79	203.71
J-26	1099.61	1132.94	33.27	0.49	501.79	203.52
J-448	1150.00	1163.91	13.88	0.18	501.79	202.35
J-200	1095.00	1132.85	37.77	0.20	501.80	203.57
J-28	1090.00	1132.77	42.69	0.30	501.80	203.61
J-40	1090.00	1132.72	42.64	0.12	501.81	203.67
J-451	1160.00	1164.47	4.46	0.73	501.84	202.43
J-38	1090.00	1132.71	42.62	0.24	501.84	203.77
J-203	1095.00	1132.85	37.77	0.05	501.85	203.56
J-196	1113.36	1135.00	21.59	0.34	501.85	203.22
J-195	1107.69	1134.89	27.15	1.04	501.86	203.32
J-174	1121.01	1147.18	26.12	0.29	501.86	203.12
J-250	1121.01	1157.05	35.97	0.83	501.87	203.12
J-42	1085.00	1132.72	47.62	0.06	501.87	203.72
J-259	1140.00	1162.82	22.77	0.42	501.87	202.32
J-41	1085.00	1132.72	47.63	0.05	501.87	203.66

...Continuación Anexo 13

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-44	1102.09	1133.36	31.21	0.45	501.88	203.42
J-43	1097.60	1132.92	35.25	0.29	501.89	203.51
J-148	1115.00	1134.56	19.52	0.07	501.89	203.22
J-180	1120.00	1157.05	36.98	0.07	501.92	203.13
J-222	1085.00	1132.72	47.62	0.38	501.93	203.61
J-201	1124.98	1151.69	26.66	0.32	501.93	202.96
J-221	1090.00	1132.65	42.57	0.21	501.93	203.54
J-182	1094.81	1132.65	37.76	0.20	501.93	203.50
J-149	1115.00	1134.56	19.53	0.04	501.95	203.18
J-133	1115.00	1134.56	19.53	0.21	501.95	203.21
J-49	1106.10	1134.57	28.41	0.42	501.97	203.31
J-244	1128.78	1153.13	24.30	1.32	501.97	202.88
J-447	1100.00	1132.57	32.50	0.80	501.98	203.41
J-450	1140.00	1160.88	20.84	1.01	501.99	202.69
J-47	1096.42	1132.24	35.74	0.17	501.99	203.50
J-190	1130.00	1150.82	20.78	0.14	502.04	203.11
J-187	1130.00	1150.86	20.81	0.49	502.04	202.99
J-204	1098.00	1131.25	33.18	0.31	502.04	203.49
J-446	1100.00	1131.10	31.03	0.76	502.08	203.39
J-205	1100.49	1130.33	29.77	0.16	502.10	203.48
J-207	1100.00	1131.24	31.18	0.20	502.12	203.77
J-212	1105.00	1128.87	23.82	0.30	502.14	203.59
J-449	1100.00	1145.82	45.73	1.36	502.14	202.77
J-238	1095.00	1110.62	15.59	0.31	502.17	203.10
J-209	1104.54	1129.08	24.49	0.24	502.18	203.48
J-213	1105.00	1128.87	23.82	0.18	502.18	203.75
J-197	1130.00	1150.75	20.71	0.21	502.19	203.00
J-445	1100.00	1129.68	29.62	0.83	502.19	203.41
J-211	1100.49	1128.89	28.35	1.15	502.20	203.57
J-210	1115.00	1128.81	13.78	0.90	502.28	203.86
J-235	1100.39	1128.29	27.84	2.15	502.29	203.48
J-247	1075.00	1093.07	18.04	0.49	502.33	202.91
J-226	1080.00	1109.71	29.65	0.22	502.34	203.00
J-237	1070.00	1110.66	40.58	1.81	502.34	203.26
J-246	1065.00	1093.68	28.63	1.39	502.35	202.70
J-224	1065.00	1109.81	44.72	0.76	502.40	203.17
J-248	1055.00	1075.86	20.82	1.29	502.44	202.74
J-455	1070.00	1112.39	42.31	0.16	502.45	203.42
J-249	1040.00	1074.59	34.52	0.38	502.52	202.59
J-241	1095.00	1127.90	32.83	1.08	502.55	203.57
J-453	1065.00	1112.43	47.34	0.42	502.57	203.44
J-240	1095.00	1127.86	32.79	0.23	502.60	203.61
J-454	1060.00	1112.43	52.32	0.08	502.62	203.42
J-452	1090.00	1127.82	37.75	0.35	502.64	203.56
J-462	1050.00	1083.20	33.13	0.70	502.67	203.40

...Continuación Anexo 13

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-232	1085.00	1127.81	42.72	0.49	502.68	203.60
J-444	1080.00	1125.99	45.89	0.42	502.73	203.63
J-225	1030.00	1059.10	29.05	0.24	502.74	202.91
J-245	1010.00	1074.31	64.18	0.66	502.77	202.82
J-443	1070.00	1102.54	32.47	0.66	502.80	203.69
J-463	1000.00	1052.96	52.85	0.52	502.91	202.85
J-239	1020.00	1073.30	53.20	0.56	502.99	203.50
J-229	1050.00	1096.03	45.94	0.09	503.05	203.86
J-230	1060.00	1096.03	35.96	0.90	503.10	203.77
J-458	980.00	1043.84	63.72	1.08	503.17	203.19
J-231	1070.00	1095.51	25.46	0.12	503.18	203.78
J-234	1075.00	1096.01	20.96	0.20	503.20	203.83
J-456	985.00	1019.03	33.96	0.07	503.26	203.47
J-459	975.00	1043.81	68.68	0.14	503.28	203.15
J-464	970.00	994.19	24.14	1.42	503.40	203.42
J-460	940.00	983.31	43.23	1.08	503.94	202.86
J-461	920.00	983.31	63.18	0.09	504.00	202.90
J-482	1125.00	1154.29	29.23	0.00	501.87	203.08

Anexo 14. Presiones actuales en los nudos durante la hora valle (22:00), después de las medidas correctivas.

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-90	995.00	1063.42	68.3	0.057	500.73	203.94
J-132	1000.00	1063.46	63.3	0.028	500.84	203.89
J-125	1013.00	1063.46	50.4	0.216	500.85	203.81
J-164	1105.00	1160.25	55.1	0.173	501.02	203.17
J-478	1035.00	1063.77	28.7	0.216	501.06	203.65
J-436	970.00	1022.75	52.6	0.060	501.16	204.28
J-435	950.00	1022.66	72.5	0.048	501.17	204.34
J-434	940.00	971.03	31.0	0.058	501.20	204.38
J-437	990.00	1022.88	32.8	0.056	501.21	204.23
Reducción 02	1070.00	1112.89	42.8	0.432	501.25	203.42
J-438	1000.00	1022.99	22.9	0.044	501.25	204.20
J-433	930.00	970.98	40.9	0.065	501.25	204.44
J-159	1115.00	1160.25	45.2	0.302	501.27	203.11
J-177	1090.00	1160.25	70.1	0.052	501.28	203.01
J-12	1055.00	1113.03	57.9	0.066	501.30	203.48
J-432	920.00	970.95	50.9	0.056	501.31	204.45
J-254	1148.00	1165.62	17.6	0.551	501.32	202.14
J-431	910.00	970.94	60.8	0.068	501.37	204.41
J-216	1065.00	1112.94	47.8	0.036	501.37	203.47
J-439	1010.00	1068.28	58.2	0.037	501.37	204.09
J-157	1120.00	1160.26	40.2	0.130	501.37	203.10
J-171	1125.00	1160.26	35.2	0.046	501.38	203.22
J-83	1080.00	1112.94	32.9	0.119	501.39	203.41
J-218	1080.00	1112.98	32.9	0.048	501.40	203.41
J-156	1120.00	1160.27	40.2	0.302	501.41	203.11
J-172	1130.00	1160.27	30.2	0.059	501.41	203.22
J-22	900.00	970.94	70.8	0.040	501.42	204.34
J-440	1030.00	1068.59	38.5	0.029	501.43	204.02
J-10	1080.00	1113.03	33.0	0.270	501.45	203.47
J-11	1070.00	1113.03	43.0	0.030	501.46	203.51
J-138	1103.00	1159.21	56.1	0.038	501.48	203.27
J-54	1087.51	1112.98	25.4	0.130	501.48	203.37
J-56	1086.50	1112.98	26.4	0.104	501.48	203.42
J-55	1085.49	1112.98	27.4	0.018	501.49	203.45
J-441	1050.00	1068.96	18.9	0.031	501.50	203.93
J-16	1070.00	1113.03	42.9	0.140	501.52	203.69
J-142	1101.00	1159.21	58.1	0.002	501.55	203.30
J-139	1101.50	1159.21	57.6	0.107	501.56	203.26
J-141	1101.00	1159.21	58.1	0.009	501.57	203.29
J-140	1100.00	1159.21	59.1	0.002	501.57	203.31
J-53	1087.50	1113.04	25.5	0.194	501.57	203.35
J-8	1084.02	1113.04	29.0	0.421	501.58	203.45
Reducción 04	1060.00	1105.89	45.8	0.028	501.59	203.87
J-13	1080.00	1113.03	33.0	0.313	501.59	203.55

...Continuación Anexo 14

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-145	1100.84	1158.84	57.9	0.033	501.61	203.26
J-217	1070.00	1113.03	42.9	0.081	501.61	203.75
J-191	1068.00	1105.91	37.8	0.012	501.63	203.82
J-255	1150.00	1165.64	15.6	0.831	501.64	202.23
J-150	1121.33	1160.37	39.0	0.324	501.65	203.10
J-193	1121.06	1160.12	39.0	0.071	501.65	203.13
J-188	1068.00	1105.91	37.8	0.042	501.66	203.83
J-136	1100.05	1159.21	59.1	0.205	501.66	203.24
J-143	1097.62	1158.84	61.1	0.085	501.67	203.29
J-52	1096.85	1158.53	61.6	0.216	501.67	203.34
J-1	1094.76	1157.93	63.0	0.205	501.68	203.44
J-258	1150.00	1165.69	15.7	0.292	501.69	202.32
J-25	1094.10	1157.81	63.6	0.162	501.69	203.53
J-19	1080.00	1105.98	25.9	0.108	501.71	203.71
J-256	1150.00	1165.56	15.5	0.100	501.71	202.13
J-257	1150.00	1165.64	15.6	0.054	501.72	202.26
J-3	1070.00	1105.92	35.8	0.227	501.73	203.82
J-194	1123.32	1160.95	37.6	0.173	501.75	203.13
J-20	1080.00	1105.97	25.9	0.004	501.75	203.70
J-202	1095.00	1157.79	62.7	0.006	501.75	203.56
J-199	1090.00	1157.77	67.6	0.003	501.75	203.63
J-135	1101.76	1158.33	56.5	0.162	501.76	203.23
Reducción 03	1070.00	1105.90	35.8	0.281	501.76	203.89
J-51	1101.32	1158.17	56.7	0.108	501.77	203.33
J-23	1060.00	1105.89	45.8	0.108	501.77	203.93
J-27	1101.55	1157.90	56.2	0.104	501.78	203.43
J-30	1090.00	1157.77	67.6	0.033	501.78	203.65
J-251	1100.00	1157.90	57.8	0.014	501.78	203.46
J-29	1090.00	1157.77	67.6	0.019	501.79	203.62
J-31	1090.00	1157.77	67.6	0.093	501.79	203.71
J-26	1099.61	1157.80	58.1	0.151	501.79	203.52
J-448	1150.00	1165.76	15.7	0.057	501.79	202.35
J-200	1095.00	1157.79	62.7	0.060	501.80	203.57
J-28	1090.00	1157.77	67.6	0.093	501.80	203.61
J-40	1090.00	1157.77	67.6	0.037	501.81	203.67
J-451	1160.00	1165.82	5.8	0.227	501.84	202.43
J-38	1090.00	1157.76	67.6	0.073	501.84	203.77
J-203	1095.00	1157.79	62.7	0.016	501.85	203.56
J-196	1113.36	1157.97	44.5	0.107	501.85	203.22
J-195	1107.69	1157.96	50.2	0.324	501.86	203.32
J-174	1121.01	1162.10	41.0	0.091	501.86	203.12
J-250	1121.01	1165.98	44.9	0.259	501.87	203.12
J-42	1085.00	1157.77	72.6	0.017	501.87	203.72
J-259	1140.00	1165.63	25.6	0.130	501.87	202.32
J-41	1085.00	1157.77	72.6	0.014	501.87	203.66

...Continuación Anexo 14

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-44	1102.09	1157.78	55.6	0.140	501.88	203.42
J-43	1097.60	1157.77	60.0	0.091	501.89	203.51
J-148	1115.00	1157.92	42.8	0.022	501.89	203.22
J-180	1120.00	1165.98	45.9	0.021	501.92	203.13
J-222	1085.00	1157.76	72.6	0.119	501.93	203.61
J-201	1124.98	1164.36	39.3	0.098	501.93	202.96
J-221	1090.00	1157.73	67.6	0.066	501.93	203.54
J-182	1094.81	1157.73	62.8	0.063	501.93	203.50
J-149	1115.00	1157.92	42.8	0.011	501.95	203.18
J-133	1115.00	1157.92	42.8	0.066	501.95	203.21
J-49	1106.10	1157.92	51.7	0.130	501.97	203.31
J-244	1128.78	1164.52	35.7	0.410	501.97	202.88
J-447	1100.00	1157.69	57.6	0.248	501.98	203.41
J-450	1140.00	1165.41	25.4	0.313	501.99	202.69
J-47	1096.42	1157.66	61.1	0.052	501.99	203.50
J-190	1130.00	1164.26	34.2	0.043	502.04	203.11
J-187	1130.00	1164.26	34.2	0.151	502.04	202.99
J-204	1098.00	1157.53	59.4	0.096	502.04	203.49
J-446	1100.00	1157.50	57.4	0.238	502.08	203.39
J-205	1100.49	1157.41	56.8	0.050	502.10	203.48
J-207	1100.00	1157.53	57.4	0.060	502.12	203.77
J-212	1105.00	1157.23	52.1	0.093	502.14	203.59
J-449	1100.00	1163.68	63.6	0.421	502.14	202.77
J-238	1095.00	1114.46	19.4	0.096	502.17	203.10
J-209	1104.54	1157.25	52.6	0.073	502.18	203.48
J-213	1105.00	1157.23	52.1	0.056	502.18	203.75
J-197	1130.00	1164.25	34.2	0.066	502.19	203.00
J-445	1100.00	1157.32	57.2	0.259	502.19	203.41
J-211	1100.49	1157.23	56.6	0.356	502.20	203.57
J-210	1115.00	1157.22	42.1	0.281	502.28	203.86
J-235	1100.39	1157.14	56.6	0.669	502.29	203.48
J-247	1075.00	1118.72	43.6	0.151	502.33	202.91
J-226	1080.00	1114.11	34.0	0.067	502.34	203.00
J-237	1070.00	1114.47	44.4	0.561	502.34	203.26
J-246	1065.00	1118.79	53.7	0.432	502.35	202.70
J-224	1065.00	1114.12	49.0	0.238	502.40	203.17
J-248	1055.00	1076.91	21.9	0.400	502.44	202.74
J-455	1070.00	1112.97	42.9	0.050	502.45	203.42
J-249	1040.00	1076.76	36.7	0.119	502.52	202.59
J-241	1095.00	1157.10	62.0	0.335	502.55	203.57
J-453	1065.00	1112.98	47.9	0.130	502.57	203.44
J-240	1095.00	1157.10	62.0	0.070	502.60	203.61
J-454	1060.00	1112.98	52.9	0.026	502.62	203.42
J-452	1090.00	1157.09	67.0	0.108	502.64	203.56
J-462	1050.00	1085.04	35.0	0.216	502.67	203.40

...Continuación Anexo 14

Nudo	Elevación	Carga	Presión	Demanda	Longitud	Latitud
	m.s.n.m.	*m.s.n.m.*	*m.c.a.*	*l/s*	*Lambert*	*Lambert*
J-232	1085.00	1157.09	71.9	0.151	502.68	203.60
J-444	1080.00	1156.88	76.7	0.130	502.73	203.63
J-225	1030.00	1059.60	29.5	0.076	502.74	202.91
J-245	1010.00	1076.73	66.6	0.205	502.77	202.82
J-443	1070.00	1105.65	35.6	0.205	502.80	203.69
J-463	1000.00	1056.51	56.4	0.162	502.91	202.85
J-239	1020.00	1085.02	64.9	0.173	502.99	203.50
J-229	1050.00	1104.90	54.8	0.027	503.05	203.86
J-230	1060.00	1104.90	44.8	0.281	503.10	203.77
J-458	980.00	1051.36	71.2	0.335	503.17	203.19
J-231	1070.00	1104.84	34.8	0.036	503.18	203.78
J-234	1075.00	1104.90	29.8	0.062	503.20	203.83
J-456	985.00	1031.00	45.9	0.021	503.26	203.47
J-459	975.00	1051.36	76.2	0.043	503.28	203.15
J-464	970.00	994.95	24.9	0.443	503.40	203.42
J-460	940.00	993.70	53.6	0.335	503.94	202.86
J-461	920.00	993.70	73.6	0.027	504.00	202.90
J-482	1125.00	1163.58	38.5	0.000	501.87	203.08

Anexo 15. Datos de entrada: Tubos de la red actual de Santiago.

Tubo	Long.	Diám.	Material	C	De Nudo	Long.	Lat.	A Nudo	Long.	Lat.
	m	mm		Hazen-Williams		Lambert			Lambert	
P-1	101.4	50	H.G.	100	J-195	501.86	203.31	J-44	501.87	203.41
P-6	46.0	50	PVC	115	J-10	501.45	203.46	J-11	501.45	203.50
P-7	149.3	100	PVC	115	J-10	501.45	203.46	J-12	501.30	203.47
P-8	99.3	100	PVC	115	J-8	501.58	203.45	J-13	501.59	203.55
P-16	117.0	100	PVC	115	J-19	501.71	203.70	J-3	501.72	203.81
P-17	37.6	12	PVC	115	J-19	501.71	203.70	J-20	501.75	203.69
P-22	91.7	100	PVC	115	J-1	501.68	203.43	J-25	501.69	203.52
P-24	99.7	100	PVC	115	J-25	501.69	203.52	J-26	501.79	203.51
P-25	93.4	100	PVC	115	J-26	501.79	203.51	J-27	501.78	203.42
P-26	97.0	100	PVC	115	J-27	501.78	203.42	J-1	501.68	203.43
P-28	23.3	100	PVC	115	J-28	501.80	203.60	J-29	501.78	203.62
P-29	27.5	75	PVC	115	J-29	501.78	203.62	J-30	501.78	203.64
P-30	63.1	75	PVC	115	J-30	501.78	203.64	J-31	501.78	203.71
P-40	180.4	75	PVC	115	J-38	501.84	203.76	J-31	501.78	203.71
P-41	26.8	50	PVC	115	J-30	501.78	203.64	J-40	501.80	203.66
P-42	68.8	50	PVC	115	J-40	501.80	203.66	J-41	501.87	203.65
P-43	84.8	50	PVC	115	J-40	501.80	203.66	J-42	501.86	203.71
P-44	94.6	100	PVC	115	J-26	501.79	203.51	J-43	501.88	203.50
P-45	92.1	100	PVC	115	J-43	501.88	203.50	J-44	501.87	203.41
P-61	102.1	100	PVC	115	J-53	501.57	203.34	J-8	501.58	203.45
P-62	102.0	100	PVC	115	J-52	501.67	203.33	J-1	501.68	203.43
P-63	99.6	100	PVC	115	J-27	501.78	203.42	J-51	501.76	203.32
P-65	56.3	100	PVC	115	J-54	501.47	203.36	J-56	501.48	203.41
P-66	29.2	100	PVC	115	J-56	501.48	203.41	J-55	501.48	203.44
P-159	76.2	37	PVC	115	J-125	500.85	203.80	J-132	500.84	203.88
P-160	94.0	100	PVC	115	J-49	501.96	203.30	J-133	501.95	203.20
P-163	93.8	100	PVC	115	J-135	501.75	203.22	J-136	501.66	203.23
P-165	100.1	100	PVC	115	J-135	501.75	203.22	J-51	501.76	203.32
P-169	88.7	75	PVC	115	J-139	501.56	203.25	J-138	501.47	203.26
P-170	35.3	37	PVC	115	J-139	501.56	203.25	J-141	501.56	203.29
P-171	16.3	37	PVC	115	J-141	501.56	203.29	J-140	501.56	203.30
P-172	13.3	37	PVC	115	J-141	501.56	203.29	J-142	501.55	203.29
P-173	46.5	100	PVC	115	J-52	501.67	203.33	J-143	501.66	203.29
P-174	55.4	100	PVC	115	J-143	501.66	203.29	J-136	501.66	203.23
P-180	61.3	50	PVC	115	J-133	501.95	203.20	J-148	501.89	203.21
P-181	31.5	100	PVC	115	J-133	501.95	203.20	J-149	501.95	203.17
P-184	83.9	100	PVC	115	J-56	501.48	203.41	J-218	501.40	203.41
P-187	97.5	100	PVC	115	J-83	501.39	203.40	J-54	501.47	203.36
P-189	176.2	100	PVC	115	J-13	501.59	203.55	J-16	501.51	203.68
P-193	79.7	50	H.G.	100	J-83	501.39	203.40	J-216	501.36	203.46
P-194	198.3	75	PVC	115	J-13	501.59	203.55	J-217	501.61	203.74
P-209	117.3	75	PVC	115	J-157	501.37	203.10	J-171	501.38	203.21

...Continuación Anexo 15

Tubo	Long.	Diám.	Material	C	De Nudo	Long.	Lat.	A Nudo	Long.	Lat.
	m	Mm		Hazen-Williams		Lambert			Lambert	
P-210	109.8	75	PVC	115	J-156	501.40	203.10	J-172	501.41	203.21
P-213	58.2	50	PVC	115	J-200	501.79	203.56	J-202	501.75	203.55
P-217	43.5	100	PVC	115	J-43	501.88	203.50	J-182	501.93	203.50
P-221	56.0	50	PVC	115	J-250	501.86	203.12	J-180	501.92	203.12
P-222	58.4	100	PVC	115	J-182	501.93	203.50	J-47	501.98	203.49
P-223	77.2	75	PVC	115	J-38	501.84	203.76	J-31	501.78	203.71
P-224	260.2	100	PVC	115	J-159	501.26	203.10	J-164	501.02	203.16
P-225	104.7	100	PVC	115	J-157	501.37	203.10	J-159	501.26	203.10
P-226	35.6	100	PVC	115	J-156	501.40	203.10	J-157	501.37	203.10
P-228	261.7	100	PVC	115	J-156	501.40	203.10	J-150	501.65	203.10
P-229	95.6	100	PVC	115	J-159	501.26	203.10	J-177	501.28	203.00
P-230	101.1	150	PVC	115	J-136	501.66	203.23	J-139	501.56	203.25
P-231	97.2	75	PVC	115	J-145	501.61	203.25	J-143	501.66	203.29
P-235	142.4	100	PVC	115	J-83	501.39	203.40	Reducción 02	501.24	203.41
P-236	70.7	100	PVC	115	J-3	501.72	203.81	J-188	501.65	203.83
P-238	78.7	100	PVC	115	J-188	501.65	203.83	Reducción 04	501.59	203.86
P-241	29.6	100	H.D.	100	J-188	501.65	203.83	J-191	501.63	203.81
P-242	122.4	50	PVC	115	J-190	502.03	203.10	J-187	502.04	202.98
P-243	45.8	100	PVC	115	J-26	501.79	203.51	J-200	501.79	203.56
P-244	32.1	100	PVC	115	J-29	501.78	203.62	J-199	501.75	203.62
P-245	44.3	100	PVC	115	J-200	501.79	203.56	J-28	501.80	203.60
P-248	47.6	50	PVC	115	J-200	501.79	203.56	J-203	501.84	203.55
P-249	54.5	100	PVC	115	J-47	501.98	203.49	J-204	502.04	203.48
P-250	57.0	100	PVC	115	J-204	502.04	203.48	J-205	502.09	203.48
P-251	185.8	50	PVC	115	J-187	502.04	202.98	J-197	502.18	202.99
P-253	292.0	100	PVC	115	J-204	502.04	203.48	J-207	502.11	203.76
P-255	79.7	100	PVC	115	J-205	502.09	203.48	J-209	502.17	203.47
P-256	100.1	100	PVC	115	J-209	502.17	203.47	J-211	502.20	203.56
P-257	292.2	100	PVC	115	J-211	502.20	203.56	J-210	502.27	203.85
P-258	68.6	75	PVC	115	J-211	502.20	203.56	J-212	502.13	203.58
P-259	165.3	75	PVC	115	J-212	502.13	203.58	J-213	502.18	203.74
P-263	209.1	37	PVC	115	J-125	500.85	203.80	J-90	500.72	203.94
P-264	72.5	75	PVC	115	J-3	501.72	203.81	Reducción 03	501.76	203.88
P-265	47.7	50	PVC	115	Reducción 03	501.76	203.88	J-23	501.77	203.92
P-266	108.5	150	PVC	115	J-136	501.66	203.23	J-193	501.65	203.12
P-267	27.3	37	PVC	115	J-150	501.65	203.10	J-193	501.65	203.12
P-268	102.7	100	PVC	115	J-194	501.74	203.12	J-150	501.65	203.10
P-269	115.9	150	PVC	115	J-174	501.86	203.11	J-194	501.74	203.12
P-271	97.0	100	PVC	115	J-195	501.86	203.31	J-51	501.76	203.32

...Continuación Anexo 15

Tubo	Long.	Diám.	Material	C	De Nudo	Long.	Lat.	A Nudo	Long.	Lat.
	m	Mm		Hazen-Williams		Lambert			Lambert	
P-272	98.2	200	PVC	115	J-195	501.86	203.31	J-196	501.85	203.21
P-273	100.0	100	PVC	115	J-196	501.85	203.21	J-135	501.75	203.22
P-276	117.8	50	PVC	115	J-201	501.92	202.95	J-187	502.04	202.98
P-283	30.9	100	PVC	115	J-221	501.92	203.53	J-182	501.93	203.50
P-284	125.0	100	PVC	115	J-28	501.80	203.60	J-222	501.92	203.60
P-285	75.9	75	PVC	115	J-222	501.92	203.60	J-221	501.92	203.53
P-287	112.4	100	PVC	115	J-209	502.17	203.47	J-235	502.29	203.47
P-290	181.7	50	PVC	115	J-224	502.39	203.16	J-226	502.34	202.99
P-292	277.3	100	PVC	115	J-241	502.54	203.57	J-235	502.29	203.47
P-293	109.3	60	PVC	115	J-230	503.10	203.76	J-229	503.05	203.85
P-294	77.9	25	H.G.	100	J-230	503.10	203.76	J-231	503.17	203.77
P-296	58.4	37	H.G.	100	J-232	502.68	203.59	J-444	502.73	203.62
P-297	134.2	60	PVC	115	J-230	503.10	203.76	J-234	503.20	203.82
P-301	112.8	100	PVC	115	J-237	502.34	203.25	J-224	502.39	203.16
P-302	273.3	75	PVC	115	J-237	502.34	203.25	J-238	502.17	203.09
P-305	85.6	50	PVC	115	J-232	502.68	203.59	J-240	502.60	203.60
P-306	65.8	60	PVC	115	J-240	502.60	203.60	J-241	502.54	203.57
P-307	275.1	75	H.G.	100	J-241	502.54	203.57	J-235	502.29	203.47
P-311	100.6	100	PVC	115	J-44	501.87	203.41	J-195	501.86	203.31
P-319	235.7	50	PVC	115	J-246	502.35	202.69	J-247	502.32	202.91
P-320	99.0	37	PVC	115	J-246	502.35	202.69	J-248	502.44	202.73
P-321	338.5	37	PVC	115	J-248	502.44	202.73	J-245	502.76	202.81
P-322	176.3	37	PVC	115	J-248	502.44	202.73	J-249	502.51	202.59
P-326	102.1	150	PVC	115	J-195	501.86	203.31	J-49	501.96	203.30
P-327	165.3	150	H.D.	100	J-212	502.13	203.58	J-213	502.18	203.74
P-328	31.2	150	H.D.	100	J-27	501.78	203.42	J-251	501.78	203.45
P-329	98.7	100	PVC	115	J-51	501.76	203.32	J-52	501.67	203.33
P-330	47.7	100	PVC	115	J-52	501.67	203.33	J-143	501.66	203.29
P-331	56.6	100	PVC	115	J-143	501.66	203.29	J-136	501.66	203.23
P-337	353.7	75	H.F.	90	J-255	501.63	202.22	J-254	501.32	202.13
P-338	129.0	37	PVC	115	J-255	501.63	202.22	J-256	501.71	202.12
P-339	89.2	100	PVC	115	J-255	501.63	202.22	J-257	501.72	202.25
P-341	107.2	75	H.F.	90	J-258	501.69	202.31	J-255	501.63	202.22
P-342	223.0	25	H.G.	100	J-258	501.69	202.31	J-259	501.87	202.31
P-546	91.1	25	H.G.	100	J-431	501.36	204.40	J-22	501.42	204.33
P-548	66.4	25	H.G.	100	J-432	501.31	204.44	J-431	501.36	204.40
P-550	63.4	25	H.G.	100	J-433	501.25	204.43	J-432	501.31	204.44
P-552	85.6	25	H.G.	100	J-434	501.19	204.37	J-433	501.25	204.43
P-554	48.2	25	H.G.	100	J-435	501.17	204.33	J-434	501.19	204.37
P-556	59.9	25	H.G.	100	J-436	501.16	204.27	J-435	501.17	204.33
P-558	79.9	25	H.G.	100	J-437	501.20	204.22	J-436	501.16	204.27
P-560	48.1	25	H.G.	100	J-438	501.25	204.20	J-437	501.20	204.22

...Continuación Anexo 15

Tubo	Long.	Diám.	Material	C	De Nudo	Long.	Lat.	A Nudo	Long.	Lat.
	m	Mm		Hazen-Williams		Lambert			Lambert	
P-562	166.3	25	H.G.	100	J-439	501.37	204.08	J-438	501.25	204.20
P-564	94.2	25	H.G.	100	J-440	501.43	204.01	J-439	501.37	204.08
P-565	116.3	25	H.G.	100	Reducción 04	501.59	203.86	J-441	501.49	203.92
P-566	107.5	25	H.G.	100	J-441	501.49	203.92	J-440	501.43	204.01
P-578	66.9	100	PVC	115	J-241	502.54	203.57	J-240	502.60	203.60
P-579	89.8	100	PVC	115	J-240	502.60	203.60	J-232	502.68	203.59
P-581	56.7	50	H.G.	100	J-444	502.73	203.62	J-232	502.68	203.59
P-583	121.9	75	H.G.	100	J-235	502.29	203.47	J-445	502.19	203.40
P-585	122.1	100	PVC	115	J-235	502.29	203.47	J-445	502.19	203.40
P-586	123.2	100	PVC	115	J-235	502.29	203.47	J-445	502.19	203.40
P-587	277.6	100	PVC	115	J-241	502.54	203.57	J-235	502.29	203.47
P-589	249.2	50	H.G.	100	J-235	502.29	203.47	J-237	502.34	203.25
P-590	114.2	50	H.G.	100	J-237	502.34	203.25	J-224	502.39	203.16
P-591	112.1	75	H.G.	100	J-445	502.19	203.40	J-446	502.08	203.39
P-592	107.8	75	H.G.	100	J-446	502.08	203.39	J-447	501.97	203.40
P-593	111.0	100	PVC	115	J-445	502.19	203.40	J-446	502.08	203.39
P-594	114.2	100	PVC	115	J-446	502.08	203.39	J-445	502.19	203.40
P-595	101.3	75	H.G.	100	J-447	501.97	203.40	J-44	501.87	203.41
P-596	92.5	100	PVC	115	J-47	501.98	203.49	J-447	501.97	203.40
P-597	100.8	100	PVC	115	J-447	501.97	203.40	J-49	501.96	203.30
P-598	108.4	100	PVC	115	J-447	501.97	203.40	J-446	502.08	203.39
P-599	108.4	100	PVC	115	J-446	502.08	203.39	J-447	501.97	203.40
P-600	102.0	100	PVC	115	J-44	501.87	203.41	J-447	501.97	203.40
P-601	102.5	100	PVC	115	J-44	501.87	203.41	J-447	501.97	203.40
P-602	96.7	100	PVC	115	J-27	501.78	203.42	J-44	501.87	203.41
P-603	86.8	50	H.G.	100	J-244	501.96	202.88	J-201	501.92	202.95
P-604	110.3	75	H.F.	90	J-448	501.79	202.34	J-258	501.69	202.31
P-605	221.5	37	PVC	115	J-244	501.96	202.88	J-449	502.14	202.76
P-606	232.5	37	PVC	115	J-449	502.14	202.76	J-246	502.35	202.69
P-607	98.4	50	H.G.	100	Junquillo Viejo	501.96	202.59	J-450	501.98	202.68
P-608	192.2	50	H.G.	100	J-450	501.98	202.68	J-244	501.96	202.88
P-609	209.6	75	H.F.	90	Junquillo Viejo	501.96	202.59	J-451	501.84	202.42
P-610	91.6	75	H.F.	90	J-451	501.84	202.42	J-448	501.79	202.34
P-611	92.5	75	H.G.	100	J-241	502.54	203.57	J-452	502.63	203.55
P-612	63.6	75	H.G.	100	J-452	502.63	203.55	J-232	502.68	203.59
P-613	91.6	100	PVC	115	J-241	502.54	203.57	J-452	502.63	203.55
P-614	64.6	100	PVC	115	J-452	502.63	203.55	J-232	502.68	203.59
P-616	54.1	50	PVC	115	J-453	502.57	203.43	J-454	502.62	203.41
P-617	118.5	50	PVC	115	J-453	502.57	203.43	J-455	502.45	203.41
P-618	284.3	37	H.G.	100	J-239	502.98	203.50	J-456	503.26	203.47

...Continuación Anexo 15

Tubo	Long.	Diám.	Material	C	De Nudo	Long.	Lat.	A Nudo	Long.	Lat.
	m	Mm		Hazen-Williams		Lambert			Lambert	
P-621	302.3	50	PVC	115	J-456	503.26	203.47	J-458	503.16	203.18
P-622	115.7	50	PVC	115	J-458	503.16	203.18	J-459	503.27	203.14
P-624	72.3	25	H.G.	100	J-460	503.94	202.85	J-461	503.99	202.89
P-626	355.1	50	H.G.	100	J-462	502.67	203.39	J-239	502.98	203.50
P-627	87.3	37	PVC	115	J-456	503.26	203.47	Santa Cecilia	503.29	203.54
P-629	136.5	60	H.G.	100	Tanque Santa Cecilia	503.27	203.47	J-464	503.39	203.41
P-630	833.8	37	H.G.	100	J-464	503.39	203.41	J-460	503.94	202.85
P-658	167.2	200	PVC	115	Junquillo Nuevo	501.89	202.69	Junquillo Viejo	501.96	202.59
P-662	10.5	37	H.G.	100	J-456	503.26	203.47	J-479	503.27	203.47
P-674	38.3	125	H.F.	90	J-482	501.87	203.08	J-174	501.86	203.11
P-675	501.8	125	H.F.	90	Junquillo Viejo	501.96	202.59	J-482	501.87	203.08
P-676	17.9	200	PVC	115	J-196	501.85	203.21	PRV-13	501.85	203.19
P-677	623.7	200	PVC	115	Junquillo Viejo	501.96	202.59	PRV-13	501.85	203.19
P-678	185.7	100	PVC	115	J-250	501.86	203.12	PRV-14	501.86	203.30
P-683	96.1	50	PVC	115	Reducción 02	501.24	203.41	PRV Cancelada 08	501.16	203.41
P-684	235.9	50	PVC	115	J-478	501.05	203.65	PRV Cancelada 07	500.90	203.80
P-685	52.2	50	PVC	115	PRV Cancelada 07	500.90	203.80	J-125	500.85	203.80
P-705	256.4	125	H.F.	90	J-44	501.87	203.41	PRV-22	501.85	203.15
P-711	310.5	75	PVC	115	J-237	502.34	203.25	PRV-27	502.62	203.38
P-714	35.3	75	PVC	115	J-224	502.39	203.16	PRV Cancelada 06	502.42	203.13
P-727	421.7	75	PVC	115	PRV Cancelada 03	502.91	202.86	J-458	503.16	203.18
P-728	15.1	75	PVC	115	PRV Cancelada 03	502.91	202.86	J-463	502.91	202.84
P-731	154.9	50	H.G.	100	J-230	503.10	203.76	PRV Cancelada 05	502.95	203.71
P-732	157.9	50	H.G.	100	J-443	502.80	203.68	PRV Cancelada 05	502.95	203.71
P-733	73.0	50	PVC	115	J-246	502.35	202.69	PRV-32	502.42	202.72

...Continuación Anexo 15

Tubo	Long.	Diám.	Material	C	De Nudo	Long.	Lat.	A Nudo	Long.	Lat.
	m	Mm		Hazen-Williams		Lambert			Lambert	
P-737	131.6	100	PVC	115	J-10	501.45	203.46	J-8	501.58	203.45
P-740	97.3	100	PVC	115	J-54	501.47	203.36	J-53	501.57	203.34
P-742	80.6	100	PVC	115	J-1	501.68	203.43	PRV-35	501.60	203.44
P-744	76.4	100	PVC	115	J-52	501.67	203.33	PRV-36	501.59	203.34
P-746	58.2	100	PVC	115	J-25	501.69	203.52	PRV-37	501.70	203.58
P-748	15.3	50	H.G.	100	J-444	502.73	203.62	PRV-38	502.74	203.63
P-750	17.9	50	PVC	115	J-452	502.63	203.55	PRV-39	502.62	203.54
P-752	152.2	100	PVC	115	J-235	502.29	203.47	PRV-40	502.27	203.33
P-755	368.5	50	PVC	115	PRV Cancelada 08	501.16	203.41	PRV-41	501.03	203.57
P-756	374.8	75	PVC	115	PRV Cancelada 06	502.42	203.13	PRV-42	502.71	202.93
Santiago 100	545.1	100	PVC	115	Junquillo Viejo	501.96	202.59	J-250	501.86	203.12

Anexo 16. Cálculo de la capacidad de las conducciones del sistema Río Tabarcia – Río Negro.

Usando la función "Buscar objetivo" de MS Excel, se encontraron los caudales máximos para igualar las pérdidas con las diferencias de elevación disponibles.

Origen	Destino	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Material	CH	hf (m)	hf (m)	ΔE (m)
Toma Río Tabarcia E=1264 m.s.n.m.	Desarenador Tabarcia E=1231 m.s.n.m.	200	431	PVC	115	4.4	~~26.2~~	33.0
		150	141	PVC	115	5.9		
		100	53	PVC	115	15.9		
Desarenador Tabarcia E=1231 m.s.n.m.	Planta Quitirrisí E=1098 m.s.n.m.	250	360	H.D.	100	1.6	133.0	133.0
		200	3568	H.D.	100	47.7		
		200	2865	H.D.	100	38.3		
		200	3390	H.D.	100	45.3		
			Q =	39.4	l/s		**166.0**	**166.0**

Toma Río Negro E=1242 m.s.n.m.	Desarenador E=1240 m.s.n.m.	150	30	H.D.	100	0.6	~~0.6~~	3.0
Desarenador E=1240 m.s.n.m.	Tanque Q-G E=1177.3 m.s.n.m.	200	397	PVC	115	1.5	~~52.6~~	62.7
		150	422	PVC	115	6.6		
		100	393	PVC	115	44.4		
Tanque Q-G E=1177.3 m.s.n.m.	Planta Quitirrisí E=1098 m.s.n.m.	200	6898	H.D.	100	34.5	79.3	79.3
		200	1880	H.D.	100	9.4		
		150	1740	H.D.	100	35.4		
			Q =	23.2	l/s		**145.0**	**145.0**

Anexo 17. Pendientes (M), para proyección de población por método logarítmico de los distritos del cantón Puriscal.

PERÍODO	DISTRITO								
	1 San.	2 M.S.	3 Bar.	4 G.A.	5 S.R.	6 Can.	7 Des.	8 S.A.	9 Chi.
1950-1963	0.023	0.047	0.021	-0.005	0.020	0.023	0.008	0.019	-
1963-1973	0.025	-0.008	-0.003	-0.006	-0.001	-0.012	-0.024	0.001	-
1973-1984	0.008	-0.082	0.005	-0.016	0.028	0.009	-0.004	0.063	-
1984-2000	0.021	0.023	0.017	0.003	-0.039	0.004	0.013	0.024	-0.007
Promedio	***0.019***	***-0.005***	***0.010***	*-0.006*	***0.002***	***0.006***	*-0.002*	***0.027***	*-0.007*

Anexo 18. Detalle de las mejoras propuestas.

Camino a Cirrí	1,721.68								
Válvula	Costo	Elevación	Diámetro	A.arriba	A.abajo	Longitud	Latitud		
Nombre	$	m.s.n.m.	mm	m.c.a.	m.c.a.	Lambert	Lambert		
PRV-41	615.90	1,040.00	50	71.4	24.0	501.03	203.57		
PRV-36	552.89	1,088.00	100	70.4	25.0	501.59	203.34		
PRV-35	552.89	1,085.00	100	72.7	28.0	501.60	203.44		
Jarazal	8,809.86								
Tubo	Costo	Longitud	Diámetro	De nudo	Longitud	Latitud	A nudo	Longitud	Latitud
Nombre	($)	(m)	(mm)	Nombre	Lambert	Lambert	Nombre	Lambert	Lambert
Mejoras-692	669.17	109.7	50	J-440	501.43	204.01	J-441	501.49	203.92
Mejoras-693	626.47	102.7	50	J-440	501.43	204.01	J-439	501.37	204.08
Mejoras-695	305.61	50.1	50	J-438	501.25	204.20	J-437	501.20	204.22
Mejoras-697	394.67	64.7	50	J-436	501.16	204.27	J-435	501.17	204.33
Mejoras-699	511.79	83.9	50	J-434	501.19	204.37	J-433	501.25	204.43
Mejoras-700	367.22	60.2	50	J-433	501.25	204.43	J-432	501.31	204.44
Mejoras-701	414.80	68.0	50	J-432	501.31	204.44	J-431	501.36	204.40
Mejoras-702	578.89	94.9	50	J-431	501.36	204.40	J-22	501.42	204.33
Mejoras-703	595.97	97.7	50	Reducción 04	501.59	203.86	PRV-19	501.51	203.91
Mejoras-704	120.78	19.8	50	PRV-19	501.51	203.91	J-441	501.49	203.92
Mejoras-705	455.67	74.7	50	J-437	501.20	204.22	J-436	501.16	204.27
Mejoras-706	128.71	21.1	50	PRV-20	501.25	204.18	J-438	501.25	204.20
Mejoras-707	930.25	152.5	50	J-439	501.37	204.08	PRV-20	501.25	204.18
Mejoras-708	145.79	23.9	50	PRV-21	501.19	204.35	J-434	501.19	204.37
Mejoras-709	163.48	26.8	50	J-435	501.17	204.33	PRV-21	501.19	204.35
Válvula	Costo	Elevación	Diámetro	A.arriba	A.abajo	Longitud	Latitud		
Nombre	$	m.s.n.m.	mm	m.c.a.	m.c.a.	Lambert	Lambert		
PRV-37	552.89	1,080.00	100	77.6	26.0	501.70	203.58		
PRV-19	615.90	1,050.00	50	55.4	19.0	501.51	203.91		
PRV-20	615.90	1,000.00	50	67.7	23.0	501.25	204.18		
PRV-21	615.90	945	50	77.5	26.0	501.19	204.35		
Junquillo 1	6,883.79								
Tubo	Costo	Longitud	Diámetro	De nudo	Longitud	Latitud	A nudo	Longitud	Latitud
Nombre	($)	(m)	(mm)	Nombre	Lambert	Lambert	Nombre	Lambert	Lambert
Mejoras-98	1,230.98	201.8	50	PRV-24	502.16	202.75	J-246	502.35	202.69
Mejoras-99	168.36	27.6	50	J-449	502.14	202.76	PRV-24	502.16	202.75
Mejoras-687	973.71	104.7	75	Junquillo Viejo	501.96	202.59	J-450	501.98	202.68
Mejoras-688	1,817.22	195.4	75	J-450	501.98	202.68	J-244	501.96	202.88
Mejoras-689	2,077.62	223.4	75	J-244	501.96	202.88	J-449	502.14	202.76
Válvula	Costo	Elevación	Diámetro	A.arriba	A.abajo	Longitud	Latitud		
Nombre	$	m.s.n.m.	mm	m.c.a.	m.c.a.	Lambert	Lambert		
PRV-24	615.90	1,100.00	50	63.1	22.0	502.16	202.75		
Junquillo 2	12,661.29								
Tubo	Costo	Longitud	Diámetro	De nudo	Longitud	Latitud	A nudo	Longitud	Latitud

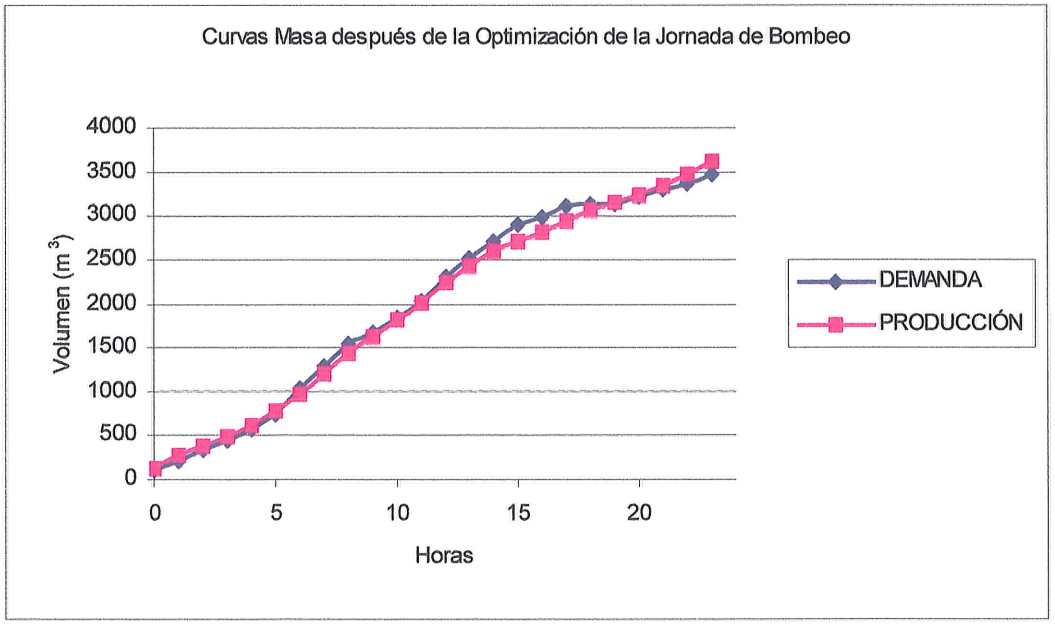
Nombre	($)	(m)	(mm)	Nombre	Lambert	Lambert	Nombre	Lambert	Lambert
Mejoras-716	2,686.72	209.9	100	Junquillo Viejo	501.96	202.59	J-451	501.84	202.42
Mejoras-717	1,196.80	93.5	100	J-451	501.84	202.42	J-448	501.79	202.34
Mejoras-718	1,431.04	111.8	100	J-448	501.79	202.34	J-258	501.69	202.31
Mejora-719	1,397.76	109.2	100	J-258	501.69	202.31	J-255	501.63	202.22
Mejoras-720	4,520.96	353.2	100	J-255	501.63	202.22	J-254	501.32	202.13
Mejoras-738	1,428.01	234.1	50	J-258	501.69	202.31	J-259	501.87	202.31
Junquillo 3	**6,463.63**								
Tubo	**Costo**	**Longitud**	**Diámetro**	**De nudo**	**Longitud**	**Latitud**	**A nudo**	**Longitud**	**Latitud**
Nombre	**($)**	**(m)**	**(mm)**	**Nombre**	**Lambert**	**Lambert**	**Nombre**	**Lambert**	**Lambert**
Mejoras-95	1,618.94	265.4	50	PRV Cancelada 04	502.51	202.75	J-245	502.76	202.81
Mejoras-96	449.57	73.7	50	J-248	502.44	202.73	PRV Cancelada 04	502.51	202.75
Mejora-669	507.52	83.2	50	J-247	502.32	202.91	J-226	502.34	202.99
Mejora-671	433.10	71.0	50	Común-481	502.84	202.81	J-245	502.76	202.81
P-754	904.89	97.3	75	Común-481	502.84	202.81	J-463	502.91	202.84
P-758	1,317.81	141.7	75	J-225	502.73	202.90	Común-481	502.84	202.81
Válvula	**Costo**	**Elevación**	**Diámetro**	**A.arriba**	**A.abajo**	**Longitud**	**Latitud**		
Nombre	**$**	**m.s.n.m.**	**mm**	**m.c.a.**	**m.c.a.**	**Lambert**	**Lambert**		
PRV-32	615.90	1,055.00	50	63.3	22.0	502.42	202.72		
PRV-42	615.90	1,035.00	75	73.5	25.0	502.71	202.93		
Pueblo Nuevo	**1,231.80**								
Válvula	**Costo**	**Elevación**	**Diámetro**	**A.arriba**	**A.abajo**	**Longitud**	**Latitud**		
Nombre	**$**	**m.s.n.m.**	**mm**	**m.c.a.**	**m.c.a.**	**Lambert**	**Lambert**		
PRV-39	615.90	1,090.00	50	67.0	23.0	502.62	203.54		
PRV-38	615.90	1,080.00	50	76.7	26.0	502.74	203.63		
Santa Cecilia 1	**7,752.50**								
Tubo	**Costo**	**Longitud**	**Diámetro**	**De nudo**	**Longitud**	**Latitud**	**A nudo**	**Longitud**	**Latitud**
Nombre	**($)**	**(m)**	**(mm)**	**Nombre**	**Lambert**	**Lambert**	**Nombre**	**Lambert**	**Lambert**
Mejoras-103	2,235.72	240.4	75	J-239	502.98	203.50	PRV-26	503.21	203.47
Mejoras-104	428.73	46.1	75	PRV-26	503.21	203.47	J-456	503.26	203.47
Mejoras-105	3,303.36	355.2	75	J-462	502.67	203.39	J-239	502.98	203.50
Válvula	**Costo**	**Elevación**	**Diámetro**	**A.arriba**	**A.abajo**	**Longitud**	**Latitud**		
Nombre	**$**	**m.s.n.m.**	**mm**	**m.c.a.**	**m.c.a.**	**Lambert**	**Lambert**		
PRV-40	552.89	1,080.00	100	76.1	35.0	502.27	203.33		
PRV-27	615.90	1,060.00	75	54.3	25.0	502.62	203.38		
PRV-26	615.90	985	75	99.8	35.0	503.21	203.47		
Santa Cecilia 2	**7,544.28**								
Tubo	**Costo**	**Longitud**	**Diámetro**	**De nudo**	**Longitud**	**Latitud**	**A nudo**	**Longitud**	**Latitud**
Nombre	**($)**	**(m)**	**(mm)**	**Nombre**	**Lambert**	**Lambert**	**Nombre**	**Lambert**	**Lambert**
Mejoras-107	558.76	91.6	50	J-456	503.26	203.47	Santa Cecilia	503.29	203.54
Mejoras-722	446.52	73.2	50	J-460	503.94	202.85	J-461	503.99	202.89
Mejoras-723	1,029.07	168.7	50	PRV Cancelada	503.85	202.98	J-460	503.94	202.85

				02					
Mejoras-724	1,449.97	237.7	50	J-464	503.39	203.41	PRV Cancelada 01	503.60	203.31
Mejoras-725	2,611.41	428.1	50	PRV Cancelada 01	503.60	203.31	PRV Cancelada 02	503.85	202.98
P-725	740.54	121.4	50	J-479	503.27	203.47	PRV-29	503.38	203.42
P-726	92.11	15.1	50	PRV-29	503.38	203.42	J-464	503.39	203.41
Válvula	**Costo**	**Elevación**	**Diámetro**	**A.arriba**	**A.abajo**	**Longitud**	**Latitud**		
Nombre	**$**	**m.s.n.m.**	**mm**	**m.c.a.**	**m.c.a.**	**Lambert**	**Lambert**		
PRV-29	615.90	970	50	59.0	25.0	503.38	203.42		
Santiago	**17,786.17**								
Tubo	**Costo**	**Longitud**	**Diámetro**	**De nudo**	**Longitud**	**Latitud**	**A nudo**	**Longitud**	**Latitud**
Nombre	**($)**	**(m)**	**(mm)**	**Nombre**	**Lambert**	**Lambert**	**Nombre**	**Lambert**	**Lambert**
Mejoras-735	683.28	29.2	150	J-150	501.65	203.10	J-193	501.65	203.12
Mejoras-736	11,742.12	501.8	150	Junquillo Viejo	501.96	202.59	J-482	501.87	203.08
Mejoras-737	2,426.58	103.7	150	J-194	501.74	203.12	J-150	501.65	203.10
Válvula	**Costo**	**Elevación**	**Diámetro**	**A.arriba**	**A.abajo**	**Longitud**	**Latitud**		
Nombre	**$**	**m.s.n.m.**	**mm**	**m.c.a.**	**m.c.a.**	**Lambert**	**Lambert**		
PRV-13	1,190.65	1,113.36	200	52.5	21.6	501.85	203.19		
PRV-22	1,190.65	1,120.00	125	42.0	15.0	501.85	203.15		
PRV-14	552.89	1,107.69	100	58.2	27.3	501.86	203.30		

Anexo 19. Jornadas de bombeo sugeridas.

Hora	*Booster*	*Cañales*	*Desamparaditos*	*DEMANDA*	*DIFERENCIA*
	m^3	m^3	m^3	Acumulada	m^3
00:00	134,06	0	0	107	27
01:00	135,63	0	0	220	49
02:00	112,87	0	0	338	44
03:00	32,66	73,944	0	447	42
04:00	62,4	72,2088	0	565	59
05:00	90,8	70,6824	0	748	37
06:00	172,58	14,976	0	1045	-72
07:00	163,33	73,2312	0	1294	-85
08:00	157,94	71,748	0	1539	-100
09:00	156,34	28,2816	0	1672	-48
10:00	143,29	61,2144	0	1833	-5
11:00	119,64	73,1736	0	2031	-10
12:00	114,67	43,1352	66,6	2301	-56
13:00	117,16	15,0336	66,6	2520	-76
14:00	11,49	73,1376	66,6	2703	-108
15:00	1,12	42,9048	66,6	2891	-185
16:00	36,72	73,1448	0	2991	-175
17:00	105,66	29,1096	0	3116	-166
18:00	123,67	0,3744	0	3138	-64
19:00	88,98	0	0	3139	25
20:00	74,79	0	0	3207	31
21:00	112,64	0	0	3305	46
22:00	128,41	0	0	3368	112
23:00	131,79	0	0	3467	145

Volumen requerido= 145 m^3+185 m^3=330 m^3



Fuente: Cordero (et al. 2001)