

Valoración, análisis y propuestas de cambios en el acueducto de la comunidad de Puerto Viejo de Sarapiquí



Abstract

In a technical way, this work details the analysis, the valuation and the proposals of change to pay the operation problems that it presents the aqueduct of the community of Puerto Viejo of Sarapiquí at the moment.

The study was based on an exhaustive gathering of field information, programs of mensuration of pressures, analysis of the habits of consumption of the community, determination of hours and days of consumption maximum, as well as the investigation of the behavior of the storage systems and of pumping. The analysis of this information allowed to know the way of operation of the current system, it stops then to outline the necessary changes in the conduction lines and distribution of the net, in aims of assuring a good covering of the community in connection with the supply of drinkable water.

As main objective he/she intended to determine if the system could give drinkable water to the community to 20 years term. They were carried out projections of population's growth using varied methods as: the graph, the lineal one, the geometric one and the logarithmic one, to compare them then with the demographic projections elaborated by the INEC. A conservative figure was used to avoid a wrong I redraw of the aqueduct which could harm the supply of water in the future. The increase of the number of inhabitants was valued in the future and, associated to this, the flow of water was specified required to endow from drinkable water to the community of "Puerto Viejo".

By means of a system computer it was possible to determine that the current net won't be able to give water to the future population. Also, with the projections in the demand of water was determined that the nascent one, of the one which at the moment the community is served, it is not able to give the flow required for the period of design. With base in the above-mentioned, and in a brief way, the necessity is observed of redrawing the aqueduct and that short term an additional source of water is obtained that it generates the demanded flow for the users in a near future.

Resumen

De una manera técnica, este trabajo detalla el análisis, la valoración y las propuestas de cambio para solventar los problemas de funcionamiento que presenta actualmente el acueducto de la comunidad de Puerto Viejo de Sarapiquí.

El estudio se basó en una exhaustiva recolección de información de campo, programas de medición de presiones, análisis de los hábitos de consumo de la comunidad, determinación de horas y días de consumo máximo, así como la investigación del comportamiento de los sistemas de almacenamiento y de bombeo. El análisis de esta información permitió conocer el modo de operación del sistema actual, para luego plantear los cambios necesarios en las líneas de conducción y distribución de la red, en miras de asegurar una buena cobertura de la comunidad en relación con el suministro de agua potable.

Como objetivo principal se propuso determinar si el sistema, como un todo, podría suministrar agua potable a la comunidad a 20 años plazo. Se realizaron proyecciones de crecimiento de población utilizando métodos variados como: el gráfico, el lineal, el geométrico y el logarítmico, para compararlas luego con las proyecciones demográficas elaboradas por el INEC. Se utilizó una cifra conservadora para evadir un mal rediseño del acueducto el cual pudiera perjudicar el suministro de agua en el futuro. Se valoró el aumento del número de habitantes y, asociado a esto, se especificó el caudal requerido para dotar de agua potable a la comunidad de Puerto Viejo.

Mediante un sistema computadorizado se logró determinar que la red actual no será capaz de suministrar agua a la población futura. Asimismo, con las proyecciones en la demanda de agua se determinó que la naciente, de la cual actualmente se sirve la comunidad, no es capaz de suministrar el caudal requerido para el período de diseño. Con base en lo anterior, y de una manera breve, se observa la necesidad de rediseñar el acueducto y de que a corto plazo se obtenga una fuente adicional de agua que genere el caudal demandado por los usuarios en un futuro cercano.

Valoración, análisis y propuestas de cambios en el acueducto de la comunidad de Puerto Viejo de Sarapiquí

Valoración, análisis y propuestas de cambios en el acueducto de la comunidad de Puerto Viejo de Sarapiquí

**ANDRÉS PEREIRA GUZMÁN
JUAN DIEGO VARGAS MIRANDA**

Junio del 2005

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**

Contenido

<i>PREFACIO.....</i>	<i>1</i>
<i>RESUMEN EJECUTIVO.....</i>	<i>2</i>
<i>INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>5</i>
<i>METODOLOGÍA.....</i>	<i>6</i>
<i>RESULTADOS.....</i>	<i>12</i>
<i>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</i>	<i>36</i>
<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	<i>40</i>
<i>APÉNDICES.....</i>	<i>43</i>
<i>ANEXOS.....</i>	<i>44</i>
<i>BIBLIOGRAFÍA.....</i>	<i>45</i>

Prefacio

El trabajo que deben desarrollar los ingenieros actualmente, no está centrado a la ampliación de redes en los grandes centros de población, sino que más bien se enfoca en la creación de la infraestructura necesaria en localidades pequeñas, en términos de soluciones adecuadas y acordes con una inversión de capital limitado, situación típica de las comunidades rurales de nuestro país.

Dado que el enfoque básico del programa académico del Ingeniero en Construcción deja por fuera la posibilidad de que muchos de los estudiantes no puedan contar nunca con un curso formal que profundice en el diseño de acueductos y alcantarillados, el presente proyecto de graduación puede servir de base y referencia para que los estudiantes interesados en ampliar sus conocimientos en el campo de la hidráulica tengan una herramienta útil que les permita desarrollar e implementar los procedimientos de diseño y análisis requeridos para concluir con éxito un proyecto de este tipo.

El objetivo principal del presente proyecto es el de valorar, analizar y proponer los cambios en el acueducto de la comunidad de Puerto Viejo de Sarapiquí, con el propósito de optimizar el funcionamiento de la red de abastecimiento.

Externamos nuestro agradecimiento a Dios por darnos esta valiosa oportunidad de superación, a la Escuela de Ingeniería en Construcción, al Ing. Elías Rosales e Ing. Sonia Vargas, a nuestras madres, Rocío y Margarita, a nuestros padres José Miguel y Ronald, a nuestros hermanos y hermanas, a los personeros y colaboradores del Acueducto de Puerto Viejo de Sarapiquí, a doña Elizabeth Sánchez. A todas las instituciones gubernamentales y no gubernamentales que brindaron su valioso apoyo para lograr nuestro objetivo.

Resumen Ejecutivo

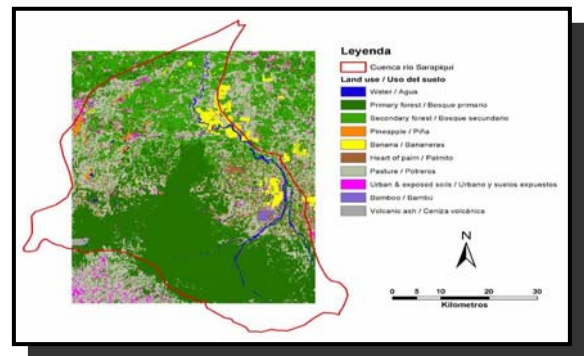
El presente proyecto está dirigido a la Asociación Administradora del Acueducto de Puerto Viejo de Sarapiquí, con el propósito de dotar a dicha organización de las herramientas técnicas que le permitan mejorar la operación del sistema de abastecimiento de agua potable; al optimizarse la calidad del servicio que se brinda a la comunidad, teniendo en cuenta la probabilidad de desarrollo urbano, comercial e industrial, puesto que el hecho de contar con servicios públicos efectivos en su momento permitirá mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona.

Actualmente, el suministro de agua potable en la comunidad de Puerto Viejo no satisface las necesidades y demandas de la población; la mayoría de los sectores de la comunidad se quejan de la ausencia de agua durante determinadas horas del día y de las bajas presiones con que el líquido ingresa a los hogares de la localidad. A pesar de los múltiples esfuerzos de la Administración del acueducto por mejorar la calidad del servicio, las condiciones de operación de la red, el crecimiento de la población, el escaso apoyo político y económico, y la vulnerabilidad del acueducto ante las amenazas naturales, dificultan cumplir adecuadamente con todos los aspectos de control y gestión eficaz del sistema de abastecimiento.

Por medio del reconocimiento de las características sociales, políticas y económicas de la zona se pudo comprender con mayor claridad las expectativas de desarrollo del distrito, hecho que incide directamente en el crecimiento demográfico de la población. A partir de este punto, fue necesario recolectar toda la información referente a censos de población, planes de ordenamiento urbano, estudios básicos de diseño y otras herramientas que nos permitieran contar con un registro histórico de la

forma en que la población de Puerto Viejo ha venido creciendo.

Por las características del proyecto, el estudio está basado en cuatro aspectos importantes: 1) la proyección de la población más probable a 20 años plazo, 2) la estimación de la demanda de agua para consumo humano y la determinación del almacenamiento requerido durante el período de diseño, 3) la valoración y análisis del funcionamiento actual de la red de abastecimiento y 4) la propuesta de acciones a tomar para optimizar la operación del acueducto. A continuación se explica con mayor detalle cada uno de los puntos descritos anteriormente.



Plano de Uso de Suelo del Cantón de Sarapiquí

Población más probable de la zona de estudio.

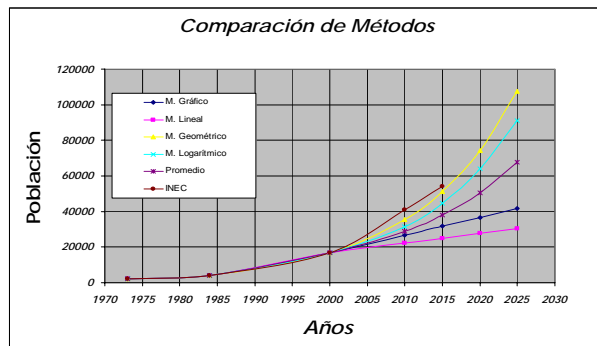
Las proyecciones de población se llevaron a cabo haciendo la comparación de los métodos matemáticos y estadísticos que por sus características eran de aplicación para la zona de Puerto Viejo. Tomando en cuenta que en la zona existe área suficiente para el desarrollo y crecimiento urbano, métodos como el del crecimiento declinante o el logístico no se

utilizaron en el presente proyecto por ser técnicas que corresponden a crecimientos de población para comunidades con áreas de tierra limitadas y expansión restringida. Por su parte, los métodos de comparación gráfica, de crecimiento lineal, geométrico y logarítmico fueron utilizados con éxito para estimar el crecimiento de la población dentro de 20 años. En el Cuadro 1.A y el Gráfico 1.B mostrados a continuación se indica la cantidad de habitantes proyectados en la zona de estudio para el período 2005-2025

Cuadro 1.A
Proyección más probable de población para la zona en estudio

Población (No. habitantes)		
Año de proyección	Distrito de Puerto Viejo	Zona de estudio
2005	22 026	3 692
2010	31 406	5 264
2015	44 782	7 505
2020	63 854	10 702
2025	91 049	15 260

Gráfico 1.B
Proyección de población para el distrito de Puerto Viejo



Curvas de crecimiento de población según los diferentes métodos utilizados

Estimación de la demanda y determinación de volúmenes de almacenamiento

Para la determinación de la demanda, se obtuvo un valor mensual de consumo de 30,12 m³ de agua potable por cada prevista existente;

de modo que utilizando 30 como el número de días del mes promedio del período de análisis, y considerando un tamaño familiar de 4,7 personas por servicio (de acuerdo con el Informe Censal de Población del INEC para la zona de Puerto Viejo en el año 2000), se tiene que la dotación diaria (D*) para el área de estudio es de 213,60 L/pers-día.

Para obtener la demanda total de diseño se debió sumar a la dotación diaria anterior, el valor correspondiente a la cantidad de agua no controlada en el sistema; dicho valor se obtiene a partir de la comparación entre el agua producida y la brindada a los abonados. Con un valor del 25% como porcentaje de agua no controlada, la demanda promedio total de diseño obtenida fue de 267 L/pers-día. En el Cuadro 2.A se muestran los caudales demandados para un período de diseño de 20 años (del año 2005 al 2025).

Cuadro 2.A
Caudales demandados en litros por segundo Acueducto Puerto Viejo de Sarapiquí

Año	Población	QPD	QMD	QMH
	(No.habitantes)	(L/seg)	(L/seg)	(L/seg)
2005	3 692	11,41	14,26	22,82
2010	5 264	16,27	20,33	32,53
2015	7 505	23,19	28,99	46,39
2020	10 702	33,07	41,34	66,14
2025	15 260	47,16	58,95	94,32

QPD*= caudal promedio diario

QMD*= caudal máximo diario (utilizando un factor máximo diario de 1,25 del QPD)

QMH*= caudal máximo horario (utilizando un factor máximo horario de 2,0 del QPD)

En relación a los volúmenes requeridos para almacenaje, se tomó en consideración que las obras de almacenamiento deberían tener la capacidad suficiente para almacenar agua con los propósitos de: a) compensar las fluctuaciones horarias del consumo, b) combatir incendios, y c) suplir agua en caso de interrupciones del abastecimiento matriz. El volumen total requerido resultó de la suma de los tres volúmenes anteriores. En el Cuadro 3.A se presenta el resultado de aplicar los criterios arriba enunciados para el acueducto de Puerto Viejo.

Cuadro 3.A
Volumen de almacenamiento requerido

Año	QPD (L/s)	Volumen de regulación (m ³)	Volumen de incendios (m ³)	Volumen de emergencias (m ³)	Volumen requerido (m ³)
2005	11,41	138,02	90	164,30	392,32
2010	16,27	196,80	90	234,29	521,09
2015	23,19	280,51	90	333,94	704,44
2020	33,07	400,01	90	476,21	966,22
2025	47,16	570,45	90	679,10	1339,55

Valoración y análisis de la red de abastecimiento

A partir del análisis detallado de cada uno de los resultados obtenidos se llegó a la conclusión de que la producción de agua requerida para satisfacer las necesidades de la población de Puerto Viejo de Sarapiquí durante el período 2005-2025, dependerá en gran parte, de la eficiencia en la administración del acueducto.

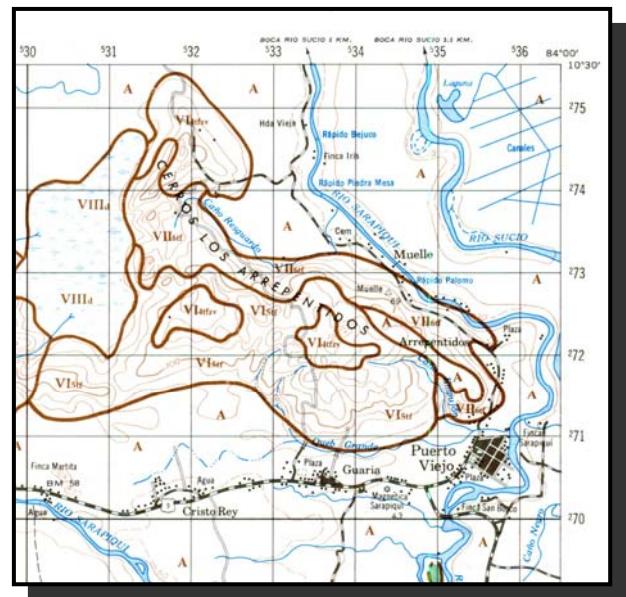
De mantenerse las mismas características de operación y mantenimiento del acueducto, la demanda podría variar entre los 14,26 y 58,95 l/s entre los años 2005 y 2025 respectivamente; situación crítica si se toma en cuenta que la producción de la fuente actual, según el registro de aforos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, se estima en unos 12 l/s; de ahí que actualmente existan problemas de abastecimiento en ciertos sectores de la comunidad servida. Por lo tanto, se requiere explorar a mediano plazo (5 años) otras fuentes de agua potable que permitan suplir las necesidades de la población futura.

Las principales razones que imposibilitan el buen funcionamiento del sistema, se deben principalmente a la inexistencia de obras de almacenamiento que permitan compensar las variaciones de consumo durante días y horas de máxima demanda, situación que genera presiones bajas en la comunidad. Adicionalmente, en ciertos tramos los problemas obedecen más bien a conexiones ilícitas típicas de una línea de conducción tan extensa a través de fincas y terrenos dedicados principalmente a la agricultura y ganadería.

Tomando en cuenta lo anterior, es evidente que la Asociación Administradora del Acueducto de Puerto Viejo, debe centrar inmediatamente sus esfuerzos en la búsqueda de

otras fuentes de producción y en lograr una mejora sustancial en términos de la eficiencia en la administración, operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua potable.

Para esto es importante que se contemple un rediseño del acueducto en función de la demanda futura, complementado con un programa de macromedición, que permita a la Administración del Acueducto detectar y corregir posibles conexiones ilícitas o fugas en la línea de conducción. Además, la adecuación de las tarifas y los racionamientos de agua en sectores específicos reducirían notablemente el consumo de agua permitiendo mayores presiones en zonas críticas del sistema.



Extensión Actual de Puerto Viejo de Sarapiquí

Introducción

En momentos en que el suministro de agua potable de nuestras comunidades es de suma importancia, se genera una interrogante: ¿qué debemos hacer los ingenieros para procurar un abastecimiento que cubra la demanda de la mayor cantidad de personas? Es importante mencionar que de la calidad de agua que consuman las personas dependerá su salud y, por ende, su calidad de vida y su desarrollo socioeconómico.

Como bien se sabe, la tecnificación y modernización de acueductos urbanos y rurales acarrea costos de inversión altos, situación que genera que no todas las comunidades puedan hacer frente a grandes inversiones. Por esto, es un deber proporcionar herramientas simples y puntuales para garantizar una cobertura de servicio a la máxima cantidad de pobladores, sin que se dependa de una gran inversión.

Se debe crear una conciencia sostenible de recursos, en este caso del hídrico, vital para la vida humana; asimismo, infundar hábitos que procuren la reducción de consumo y conduzca a la protección de fuentes de abastecimiento, pues de ello dependerá el desarrollo de la comunidad.

El siguiente trabajo abarca como tema principal el análisis del sistema de captación, purificación, conducción y distribución de agua potable de la comunidad del distrito central de Puerto Viejo de Sarapiquí, ubicado en la provincia de Heredia. De manera que la investigación se basa en la valoración, el análisis y las propuestas de cambios para el acueducto de dicha comunidad. Para alcanzar este objetivo se realizó un exhaustivo análisis de la condición actual del acueducto, tanto su red de conducción como la de distribución.

El presente informe evalúa y fija las dotaciones y posibles expansiones del acueducto desde el punto de vista del crecimiento

poblacional y la expansión territorial, además de proponer mejoras correctivas para su optimización.

Para alcanzar dichos objetivos se utilizaron métodos de proyección del crecimiento demográfico, considerando la población de localidades próximas y otras no tan cercanas pero con características equivalentes en desarrollo. Tales métodos (estadísticos y gráficos) de proyección son: comparación gráfica, crecimiento lineal, crecimiento geométrico y crecimiento logarítmico. De los resultados proyectados con los procedimientos anteriores se estima un promedio, el cual se utiliza para el cálculo de la población en los años 2015 y 2025, dado que dicho análisis plantea unos 20 años más de funcionamiento del sistema.

Se debe conocer el consumo actual de la población para que por medio de la estimación poblacional se calcule un caudal futuro de demanda nodal. Es de suma importancia conocer el funcionamiento actual de la red para que, mediante un análisis objetivo se valore la posibilidad de expansiones o mejoras necesarias para un efectivo funcionamiento y suministro a la población.

Finalmente, se emiten consideraciones que puedan proveer a la población de herramientas que le permitan implementar cambios puntuales y específicos que prolonguen la vida útil del recurso hídrico, del sistema de distribución y la conservación de zonas de recarga.

Metodología

Reconocimiento previo de la zona de estudio

Con el propósito de conocer con mayor detalle el área de estudio y determinar así el tipo de crecimiento poblacional y el desarrollo característico de la zona, se obtuvo información general del cantón de Sarapiquí, específicamente del distrito de Puerto Viejo.

Información referente al clima, precipitación pluvial, temperatura y aspectos meteorológicos de la zona fueron obtenidos a través de publicaciones del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), a partir de mediciones realizadas en la Estación La Selva, ubicada precisamente en el sector de Puerto Viejo de Sarapiquí.

Aspectos característicos del ordenamiento urbano, del sector agropecuario, industrial y comercial del área se conocieron a fondo mediante el análisis de estudios realizados en la localidad de Puerto Viejo por el Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS), Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM), y el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU).

Adicionalmente, la comprensión de la problemática y la condición pasada y presente del acueducto del área de estudio, se pudo lograr mediante consultas y entrevistas con el personal administrativo y fontaneros de la Asociación Administradora del Acueducto (ASADA), quienes residen en la zona y conocen con detalle la situación actual de Puerto Viejo de Sarapiquí.

Estimación de la población

Como primer paso para llevar a cabo una proyección acertada de la población para el período de diseño del acueducto, debió definirse en primera instancia la extensión de terreno

abastecida por el acueducto de Puerto Viejo de Sarapiquí; para esto se recolectó información cartográfica del Instituto Geográfico Nacional, fotografías aéreas del proyecto “Encarta 2003” realizado por la NASA en conjunto con el Centro Nacional de Alta Tecnología Franklin Chang Díaz (CENAT), así como los planos de construcción del acueducto existente de Puerto Viejo suministrados por el Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (AyA).

Definida entonces el área abastecida por el acueducto, se obtuvieron los censos de población disponibles en el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), con el propósito de contar con un registro histórico que nos permitiera visualizar y analizar la curva de crecimiento de la población de Puerto Viejo en el pasado. Además, dicha información es de vital importancia como insumo de los métodos de proyección demográfica utilizados.

Haciendo una comparación entre las características de crecimiento de la zona y los supuestos básicos que rigen cada método de proyección de población (exponencial, logarítmico, geométrico, etc), se eligieron los métodos que mejor se ajustaban a las condiciones de desarrollo y crecimiento del distrito de Puerto Viejo de Sarapiquí para proceder con el cálculo de las correspondientes tasas de crecimiento.

Teniendo claro cada uno de los métodos de proyección a utilizar, fue necesario establecer el período de diseño de la red de abastecimiento de agua potable, de manera que se tuviera definido el año en el cual la curva de crecimiento debía proyectarse.

Agrupando los datos obtenidos mediante la aplicación de los métodos de proyección utilizados, se graficaron las curvas correspondientes a cada método, y además las correspondientes a los valores promedio y a las proyecciones de población elaboradas por el

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Esto con el propósito de analizar y comparar objetivamente la curva de crecimiento que más se ajustara a la del comportamiento histórico de la localidad de Puerto Viejo y determinar así la proyección más probable de la zona de estudio para los años de referencia del período de diseño.

Con los valores globales de población ya establecidos para el área de análisis, debe distribuirse certeramente esta cantidad total de habitantes, sectorizando la zona para definir con criterio las denominadas “poblaciones nodales”, base fundamental de cualquier diseño y evaluación de una red de abastecimiento de agua potable. Para esto, se tomó la misma sectorización propuesta por el INEC para el censo del 2000 en el área de estudio, denominada como Zona 3 de Puerto Viejo de Sarapiquí. La Zona 3 está conformada por un total de 13 sectores, codificados con el mismo orden numérico, cada uno de los cuales presenta diferentes densidades actuales de población. De forma general, el procedimiento utilizado para obtener las poblaciones nodales es el descrito a continuación:

- Como se cuenta con los datos de población para cada sector de acuerdo con el censo del 2000, se calculan los porcentajes correspondientes con respecto al total de la población de la zona en ese mismo año. Dichos porcentajes se aplican al valor total de población del área de estudio para el año 2005, con el propósito de obtener el número de habitantes por sector.
- El número de habitantes del 2005 de cada uno de los 13 sectores se multiplica por el factor de crecimiento que resulta de dividir la población futura entre la población actual.
- De acuerdo con lo calculado en el punto anterior y con las áreas de cada sector, se calcula la densidad de población por sector.
- En las zonas donde la densidad excede a 150 hab/ha (zonas que no deberán crecer más debido a que se llega a una densidad de saturación), el excedente se reparte en forma proporcional a las áreas restantes.

- De esta forma se obtienen los valores de población y densidad por sector para los años 2005, 2015 y 2025.

Estimación del consumo y demanda de agua

Para la proyección de la demanda de agua para consumo humano de una población, debe tomarse en cuenta el crecimiento futuro de la población y las actividades que desarrollan las personas que habitan o visitan la población (domésticas, comerciales, industriales, recreativas, deportivas, religiosas, etc).

Como insumo importante para el cálculo del consumo, debió recolectarse toda la información existente en relación a las mediciones y tarifas actuales y anteriores con las que cuenta la Administración del Acueducto de Puerto Viejo. Por lo tanto, los datos existentes sobre el suministro de agua para el presente estudio son los informes mensuales elaborados para los efectos de cobro, los cuales incluyen los caudales registrados en los medidores y el número de previstas existentes.

Con dicha información se calcula el consumo mensual promedio de la población en estudio, de manera que relacionando los datos ya conocidos de consumo mensual promedio y el número de previstas activas existentes, se obtiene un consumo en $m^3/prevista$. Posteriormente, utilizando el número de días del mes promedio del período de análisis, y considerando un tamaño familiar de personas por servicio (de acuerdo con el Informe Censal de Población del INEC para la zona de Puerto Viejo), se calcula entonces la dotación diaria neta para el área de estudio.

Por otro lado, para obtener la demanda total de diseño se debe sumar a la dotación diaria neta calculada anteriormente, el valor correspondiente a la cantidad de agua no controlada en el sistema. Dicho valor se obtiene a partir de la comparación entre el agua producida y la brindada a los abonados. La demanda total debe compararse con las demandas de otros acueductos del país similares en funcionamiento y tamaño con el propósito de contar con un parámetro real de comparación.

Finalmente, la distribución de la demanda futura resulta de aplicar la dotación total en litros

por persona por día a las poblaciones nodales calculadas anteriormente.

control con que cuenta el sistema para satisfacer la demanda de agua de la comunidad.

Análisis del funcionamiento de la red

Como punto de partida para la evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable, debe conocerse con detalle cada uno de los componentes del sistema. De manera que partiendo de la información indicada en los planos de construcción del acueducto, en los estudios realizados al respecto por parte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), y la inspección en el sitio, se caracterizaron los siguientes elementos:

- Tuberías. Clasificadas por tipo de material, diámetro, cédula, longitud, y elevaciones correspondientes a las líneas de conducción y distribución.
- Fuente de abastecimiento. Debió valorarse aspectos importantes de la naciente tales como: ubicación, estado de las obras de captación, capacidad de producción, etc. La información referente a la medición de caudales producidos por la naciente (aforos) durante todo el período de funcionamiento del acueducto es de vital importancia, por lo que se recurrió a los datos obtenidos por el A y A durante el diseño y puesta en marcha del sistema.
- Tanques de bombeo. Aspectos como la ubicación de sectores de la red en donde se abastece de agua potable por medio de sistemas de bombeo son de suma importancia para evaluar adecuadamente el funcionamiento del acueducto. Además debe conocerse con claridad, las especificaciones técnicas y eléctricas de las bombas de impulsión, las elevaciones piezométricas, los tiempos reales de bombeo, entre otras.
- Tanques de almacenamiento. Se obtuvo información referente a la capacidad de almacenamiento de los tanques existentes, así como los mecanismos de

Por otro lado, con el propósito de identificar la curva de demanda característica de la localidad de Puerto Viejo, se realizaron mediciones de caudal (por medio de registradores de tubo Pitot) y presiones en puntos estratégicos de la red a diferentes horas del día. Con estos datos de variación horaria del consumo se calibró el sistema de cómputo utilizado para el análisis de la red.

El software utilizado para la evaluación y análisis de la conducción y distribución del agua potable en Puerto Viejo de Sarapiquí se llama "InfoWorks" utilizado por la Municipalidad de Cartago para el diseño y optimización del sistema de abastecimiento de dicho lugar; bajo la asesoría del personal encargado del manejo de dicho software, se nos facilitaron las herramientas y conocimientos para insertar la información específica de nuestro proyecto y ajustar y detectar los comportamientos normales o anormales del acueducto en estudio.

Descripción de la zona de estudio

1.1 Descripción general

La población de Puerto Viejo es la cabecera del distrito 1º del cantón 10º de Sarapiquí, provincia de Heredia; su elevación media es de 37 metros sobre el nivel del mar y se localiza al norte de la provincia, a unos 90 kilómetros de distancia de la ciudad de Heredia, cabecera de dicha provincia. Las coordenadas geográficas del área de estudio son: 10º 27' latitud norte y 83º 02' longitud oeste.

Se llega a la población de Puerto Viejo por medio de una carretera asfaltada, en buen estado y transitable durante todo el año; la duración del viaje desde San José es de aproximadamente una hora y media. También se puede llegar a esta población por Heredia, vía Vara Blanca, donde la distancia es de 61 kilómetros desde la ciudad de Heredia.

Como su nombre lo indica, este lugar es un puerto fluvial sobre el Río Sarapiquí, importante vía de comunicación turística formada por las cuencas de los ríos Sarapiquí, Sucio, Toro, San Juan y algunos afluentes de estos.

Su clima es tropical húmedo, llueve todo el año pero la precipitación pluvial disminuye considerablemente de marzo a junio y, ocasionalmente, en septiembre; la temperatura de Puerto Viejo es más bien cálida, acusando pocas variaciones durante el día. En general, el clima corresponde al de las llanuras de San Carlos.

Este sector es agropecuario, maderero y ganadero; sus tierras son bastante fértiles, factor que, unido a la gran precipitación pluvial anual y a la corta estación seca, generan que la zona resulte potencialmente óptima para muchas variedades de cultivos.

1.2 Análisis local del área de estudio

Se puede establecer que la población de Puerto Viejo consta de dos sectores: el primero se extiende a lo largo de la carretera de acceso por una longitud aproximada de 2 kilómetros, con construcciones dispersas a ambos lados de la vía; el segundo sector es la parte central de Puerto Viejo, limitada por dos cuerpos hídricos: el Río Sarapiquí, al este y la Quebrada Grande, al oeste. Este sector cuenta con un amplio cuadrante saturado parcialmente por viviendas y una calle principal donde están ubicados el comercio, los servicios comunales, algunas viviendas, y el embarcadero, localizado al final de dicha vía principal. Esta calle está desplazada hacia el este, próxima a la quebrada, y el cuadrante principal se extiende hacia el Río Sarapiquí mediante tres calles más, paralelas a la principal.

Los terrenos en la zona este tienen una ligera pendiente hacia el Río Sarapiquí y los ubicados en la parte oeste, hacia la Quebrada Grande; las calles se encuentran en buen estado, son de trazo regular y el ancho de las vías es adecuado.

1.3 Amenazas hidrometeorológicas de la zona

El Cantón de Sarapiquí posee una red fluvial bien definida que cuenta con un conjunto de ríos y quebradas que se pueden considerar como el punto focal de las amenazas hidrometeorológicas del cantón. Dicha red de drenaje está compuesta principalmente por los ríos: San Juan, Toro, Sucio, Sarapiquí, Puerto Viejo, Peje, Guácimo, entre otros.



Foto 1 Cauce del Río Puerto Viejo, Tubería de conducción reventada por aumento de nivel del cauce.

De estos ríos y quebradas, algunos han aumentado el período de recurrencia de inundaciones por causa de que las planicies de inundación han sido ocupadas desordenadamente, al igual como se ha dado el desarrollo urbano, sin ninguna planificación y al margen de las leyes forestales y de urbanismo.

A lo anterior se suma el lanzamiento de los desechos sólidos a los cauces, lo cual disminuye la capacidad de la sección hidráulica y provoca el desbordamiento de ríos y quebradas. Estos serios problemas han sido generados por la construcción de viviendas a la vera de los ríos en el cantón de Sarapiquí. La localidad de Puerto Viejo ha sido diagnosticada como una zona con alto riesgo, debido a las inundaciones o avalanchas provocadas por el río del mismo nombre.

Adicionalmente, es común en la zona de estudio el envío de las aguas servidas y pluviales que fluyen de las diferentes urbanizaciones a los ríos, lo cual aumenta su caudal y la posibilidad de inundaciones, además de problemas de salud en períodos de lluvias intensas, los cuales también surgen cuando se presentan otros fenómenos hidrometeorológicos tales como: frentes fríos, vaguadas, temporales, tormentas tropicales, depresiones, etc.

1.4 Actividad sísmica

Puerto Viejo de Sarapiquí se localiza dentro de la región sísmica con la tasa de actividad más baja del país, donde únicamente se han registrado pequeños microtemblores. Sin embargo, no se debe descartar completamente la posibilidad de que en algún momento se presente un evento sísmico cercano, capaz de producir daños de importancia.

Dadas las características geológicas de los terrenos del cantón de Sarapiquí, los posibles efectos principales de un evento sísmico dentro del cantón serían:

- Amplificaciones de la intensidad sísmica en aquellos sitios donde el tipo de suelo es poco cohesivo.
- Deslizamientos de suelo en aquellos sitios de fuerte pendiente, cerca de los principales cauces.
- Fractura de suelos.
- Asentamientos del suelo, sobre todo donde se han hecho rellenos mal compactados.

1.5 Deslizamientos (inestabilidad de suelos)

Se deben tomar en cuenta los efectos que genera la erosión en los márgenes de los principales ríos, la cual propicia el colapso de porciones de suelo. Los efectos más probables son la destrucción de terrenos cultivados, daños diversos a caminos, el sepultamiento de viviendas, entre otros.



Foto 2 Deslizamiento en zona de Tubería de Conducción

1.6 Recursos del área del proyecto y sitios Adyacentes

El sitio de la captación se ubica en la hoja cartográfica "Río Cuarto", escala 1:50 000, editada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), entre las coordenadas 535-536 N y 264-265 E, (Ver Anexo 3)

Para llegar al sitio desde Puerto Viejo, se sigue por la carretera que va hacia Guápiles por aproximadamente 8 kilómetros, y de allí en adelante se continúa, a pie, 5 kilómetros por entre los potreros de la finca de los hermanos Vargas Montero, hasta la Quebrada Sábalo; de este punto, se continúa por aproximadamente 2 kilómetros más hasta el lugar en mención.

El sitio está conformado por un pequeño manantial (ojo de agua) que aflora en la superficie y al pie de una pequeña loma. Según análisis químicos realizados en la naciente con anterioridad, el agua posee niveles de salinidad relativamente altos (cloruros: 40,5 mg/L), hidrogenocarbonatos altos (267 mg/L, lo que provoca el sabor tan particular del agua) y una dureza total de 230 mg/L.

Según un estudio realizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería denominado "Observaciones preliminares sobre el impacto ambiental del acueducto de Puerto Viejo", una dureza alta puede provocar, a largo plazo, problemas renales en los usuarios; sin embargo, la dureza del agua está dentro del rango permisible (de 100 a 500 mg/L).

La naciente se ubica en un pequeño claro de 400m², probablemente originado por la tracción del agua que discurre del manantial hacia el río, el tipo de sustrato rocoso - arcilloso - arenoso y la ausencia casi total de suelo en ese pequeño claro.

En sus alrededores, el área posee una adecuada cobertura de bosque natural con árboles grandes, de entre 25 a 30 metros de altura y un diámetro aproximado de 50 cm. Las especies que principalmente constituyen dicho bosque son: gavilán, guácimo colorado, manú, sotacaballo y cedro macho; además, en el dosel intermedio se pueden encontrar palmitos, y en la parte baja, heliconias, ziperaceas, helechos, etc.

El suelo de la zona es de color café negrusco, poco profundo, con una capa de materia orgánica en descomposición; se nota claramente la presencia de rocas en algunos sitios, quizás producto del arrastre del río.

La topografía es suave y ondulada, se ubica dentro de la categoría plano-ondulado (entre el 5% y el 15% de pendiente), de acuerdo con el mapa de categorías de pendientes (escala 1:20000).

Geológicamente, el área está formada por depósitos fluviales y coluviales recientes (según el mapa geológico de Costa Rica). Geomorfológicamente el área se conformó mediante la sedimentación aluvial, y se localiza dentro de la llanura aluvial atlántica (también con base en el mapa geomorfológico de Costa Rica). Basados en el mapa ecológico del Centro Científico Tropical, el área de estudio se ubica dentro de la zona de vida denominada "Bosque muy húmedo tropical".

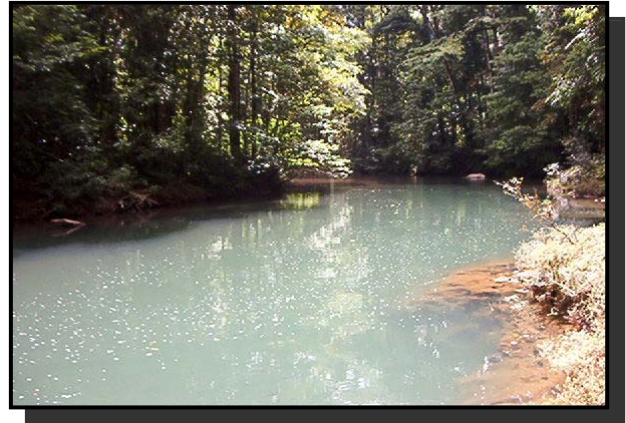


Foto 3 Sitio en estudio, área de la naciente



Foto 4 Sitio de captación de la naciente

Resultados

Estimación de la Población

Consideraciones generales

Evidentemente, una gran población utiliza mayor cantidad de agua que una población pequeña, razón por la cual históricamente el empleo del recurso hídrico se calcula con base en la proyección poblacional; sin embargo dicha estimación no siempre resulta satisfactoria, pues el consumo de agua también se ve influenciado por factores como el clima, el nivel económico, la densidad de población, el grado de industrialización, el costo, la presión y la calidad de abastecimiento.

Un análisis de la demanda futura de una comunidad en particular debe comenzar siempre por considerar el uso presente. Según la Referencia 1, el consumo debe detallarse por: clases de usuarios (domésticos, comerciales, industriales, públicos), área de la zona en estudio, nivel económico de los usuarios, estación del año, etc. El método más común de dividir el uso total por la población total para obtener un consumo por habitante debe ser aplicado con mucho cuidado, ya que se debe contemplar que: (a) la totalidad de la población puede no estar servida por el sistema analizado, (b) puede haber grandes usuarios industriales, cuyo consumo es independiente del crecimiento de la población y (c) las características de la población, al igual que su tamaño, pueden variar.

Un pueblo es un ente dinámico, por lo que su número de habitantes crece debido a nacimientos e inmigraciones (y por anexión de otras concentraciones humanas más pequeñas) y decrece debido a muertes y emigraciones.

El elemento más importante y menos previsible en el desarrollo de la comunidad es el crecimiento industrial y comercial, el cual depende de manera importante de las políticas a nivel macroeconómico del país, que pueden modificarse según los planes de gobierno.

De acuerdo con la Referencia 2, sin tener en cuenta el factor industrial y comercial, la población presentará un crecimiento vegetativo, es decir, con oportunidades económicas y espacio limitados; en este caso, la curva que representa el crecimiento de la población tiene una forma de "S" alargada e inclinada hacia la derecha, lo cual evidencia el crecimiento temprano a un índice creciente y el crecimiento tardío a un índice decreciente, conforme se alcanza un valor de saturación.

Lo que el futuro depara a una determinada población depende de la ubicación en que se encuentre sobre la curva en un momento dado; por lo tanto, es necesario conocer la superficie disponible que podría utilizarse para que la población se expandiera. Este factor puede limitar directamente el desarrollo (habitacional, industrial, comercial, etc.) cuando se trata de una zona limitada físicamente en todos sus costados, pero para nuestro caso en particular (Puerto Viejo de Sarapiquí), puede decirse que el área de expansión únicamente se ve limitada en uno de sus costados, por el Río Sarapiquí, de modo que la población no necesariamente debe crecer como una curva "S", pues en todo caso, el valor de saturación es muy lejano.

Es posible emitir un pronóstico de crecimiento de población para un período de 10 años, incluso de 15 años, con un nivel de precisión aceptable, siempre y cuando este se base en datos fidedignos de censos y estudios de población, y sobre planes de desarrollo controlados de manera eficaz por los organismos pertinentes.

Los pronósticos para plazos más largos

son forzosamente mucho menos fidedignos, por lo cual deben ser evaluados y actualizados cada cierta cantidad de años, a la luz de la generación de nueva información, como por ejemplo sobre el número de habitantes, los cambios en las políticas de desarrollo o inconvenientes presentados en la ejecución de dichas políticas.

Debido a las razones antes descritas, es probable que nuestra estimación contenga algún grado de error, pero seremos tan razonables como nos sea posible al seleccionar una técnica apropiada de proyección de la población. Por tal motivo, el conocimiento detallado de la comunidad de Puerto Viejo de Sarapiquí y de los factores externos que pueden afectar su crecimiento son aspectos relevantes del presente proyecto.

Población presente y pasada

La población de la zona está constituida por una parte de los habitantes del distrito de Puerto Viejo del cantón de Sarapiquí, ya que no todos los sectores que componen el distrito son abastecidos por el acueducto en estudio. Como datos históricos de referencia que permitan establecer el comportamiento de la población de Puerto Viejo de Sarapiquí, se indican en el *Cuadro 1* los resultados obtenidos mediante la realización de los censos de población del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en los años de 1973, 1984 y 2000.

Cuadro 1
Crecimiento poblacional entre los años 1973 y 2000

Descripción	Año 1973	Año 1984		Año 2000	
	No. habitantes	No. habitantes	Factor de crecimiento*	No. habitantes	Factor de crecimiento*
Costa Rica	1 871 780	2 416 809	1,29%	3 810 179	1,58%
Provincia de Heredia	133 844	197 575	1,48%	354 732	1,80%
Cantón de Sarapiquí	12 618	18 905	1,50%	45 435	2,40%
Distrito Puerto Viejo	2 274	4 107	1,81%	16 836	4,10%

*Relación entre la población del censo más reciente y la población del censo anterior.
Fuente. Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC.

Proyecciones demográficas

Según la Referencia 1, a pesar de que la vida útil de las tuberías es muy larga y que el costo del material es sólo una pequeña parte del costo de la construcción, el diseño de acueductos y de líneas de conducción generalmente se planea para un período de 25 años.

El presente estudio pretende optimizar el funcionamiento del acueducto de Puerto Viejo de Sarapiquí para el año 2025, lo que quiere decir que se deben realizar proyecciones de población para un período de 20 años, lapso que resulta bastante confiable porque cumple con las recomendaciones internacionales para el diseño de acueductos. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que la zona analizada es muy extensa y que es muy probable que dentro de 20 años ocurran grandes cambios demográficos, pues cuando existe un gran área disponible para el desarrollo y se mejora el nivel de servicios, es común el surgimiento de proyectos urbanísticos que conforme van aumentando, conllevan cambios y nuevos planes en la concepción y planificación del sistema inicial.

De manera que el uso del buen juicio al estimar la población es necesario, puesto que si el valor obtenido es muy bajo, el sistema pronto será inadecuado y habrá que rediseñarlo, reconstruirlo y refinanciarlo. Por otra parte, una sobre estimación de la población resulta en una capacidad excesiva que debe ser financiada por una población menor a un alto costo unitario y que nunca podrá ser aprovechada por causa del deterioro o de la obsolescencia tecnológica.

La selección de una técnica apropiada no siempre es fácil, y en vista de la gran cantidad de métodos existentes para la estimación de la población en el futuro, se utilizarán únicamente aquellos que por sus características sean de aplicación para la zona de Puerto Viejo. Tomando en cuenta que existe gran área para el desarrollo y crecimiento urbano, métodos como el del crecimiento declinante o el logístico no se utilizarán en el presente proyecto por ser técnicas que corresponden a crecimientos de población para comunidades con áreas de tierra limitadas y expansión restringida.

Métodos de Proyección

Las proyecciones de población se llevaron a cabo haciendo la comparación de los métodos matemáticos utilizados, los cuales se describen a continuación:

a) Método de comparación gráfica

El método gráfico consiste en hacer una comparación, de manera ilustrativa, de la población en estudio y de otras tres poblaciones del país con determinadas características. El método supone que la población en cuestión presentará una tendencia de crecimiento similar al promedio del crecimiento de las otras tres, después de que se haya sobrepasado el límite de la población base (último censo de población).

Según la Referencia 2, debe hacerse la comparación entre poblaciones con las siguientes características:

- Población A: Ciudad estudiada, Puerto Viejo de Sarapiquí.
- Población B: Ciudad de la misma región, similar en desarrollo, clima y tamaño: La Virgen de Sarapiquí.
- Población C: Ciudad de la misma región, similar en desarrollo y clima pero de un número relativamente mayor de habitantes que la población A: Matina de Limón.
- Población D: Ciudad de otra región del país pero de mayor población que la población A. No se deben tomar en cuenta ciudades que, por sus características especiales, no sean representativas del crecimiento de la región en donde se encuentra la población A: Buenos Aires de Puntarenas.

Los datos disponibles de los censos de población de los años 1973, 1984 y 2000 para las zonas de comparación anteriormente mencionadas se muestran en el *Cuadro 2*

Cuadro 2
Número de habitantes para proyecciones de población por el método de comparación gráfica

Código	Área de comparación	Población de la zona (No. habitantes)		
		1973	1984	2000
A	Puerto Viejo de Sarapiquí	2 274	4 107	16 836
B	La Virgen de Sarapiquí	3 108	4 451	18 322
C	Matina de Limón	10 489	14 723	34 172
D	Buenos Aires, Puntarenas	20 104	27 716	41 366

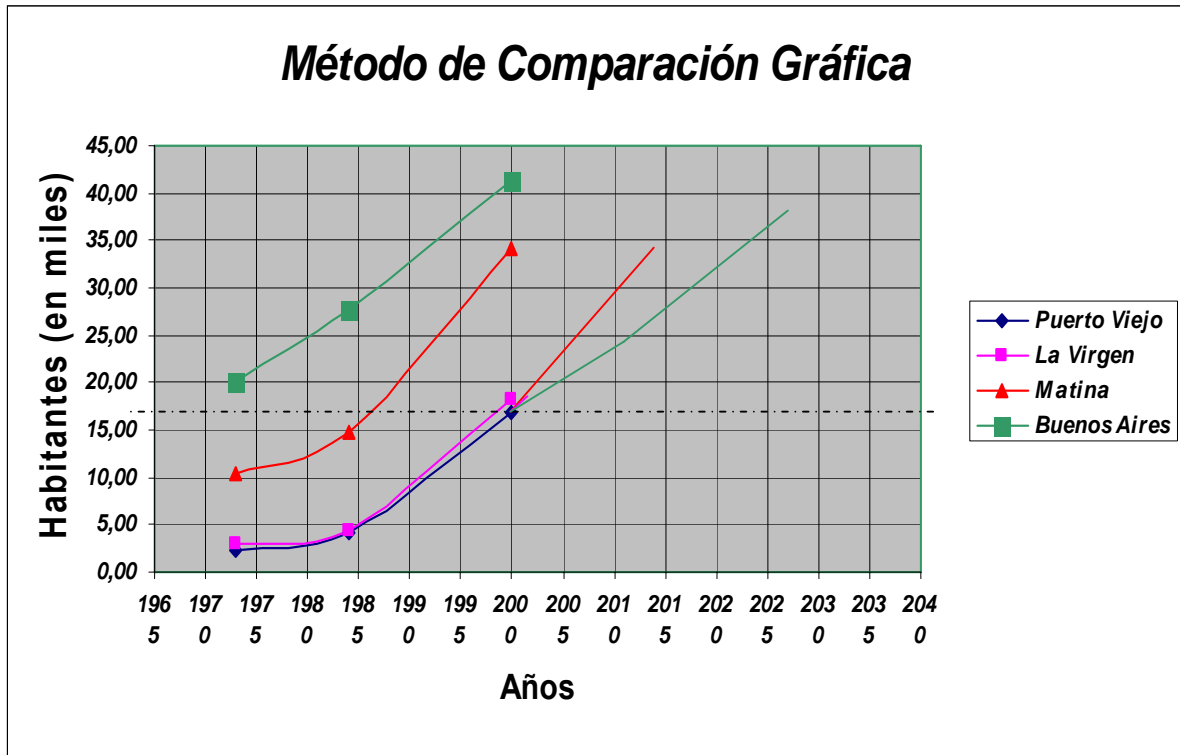
Fuente. Censos de Población / Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC.

Cuadro 3
Proyección de población para el distrito de Puerto Viejo.
Método de comparación gráfica

Área de comparación	Población (No.Habitantes)			
	2010	2015	2020	2025
La Virgen de Sarapiquí	26 555	31 111	35 833	40 444
Matina de Limón	29 444	36 167	42 222	48 222
Buenos Aires, Puntarenas	23 889	27 778	32 167	36 611
Σ (sumatoria)	79 888	95 056	110 222	125 277
Promedio (Puerto Viejo)	26 629	31 685	36 741	41 759

Graficando los valores de población anteriores y desplazando paralelamente hasta el censo del 2000 cada una de las curvas de crecimiento de las demás zonas de comparación (ver *Gráfico 1*), se obtuvieron los valores de población de las 3 curvas desplazadas y prolongadas para cada uno de los años de interés; datos que, promediados, se utilizarán como resultados finales del método de comparación gráfica, mostrados en el *Cuadro 3*

Gráfico 1
Curvas de crecimiento de las poblaciones de comparación



b) Método del crecimiento lineal

Si el aumento de la población es constante e independiente del tamaño de esta, el crecimiento es lineal. Si P es la población y T es el tiempo, entonces:

$$dP / dT = k_a; \quad dP = k_a dT$$

Integrando entre los límites de último censo (uc) y el censo inicial (ci) se tiene:

$$k_a = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}}$$

en donde:

k_a = Pendiente de la recta

P_{uc} = Población de último censo

T_{uc} = Año del último censo

P_{ci} = Población del censo inicial

T_{ci} = Año del censo inicial

Podrá tomarse un valor promedio de k_a entre los censos o un k_a entre el primero y el último censo disponible. Por lo tanto, la ecuación de proyección de población será:

$$P_f = P_{uc} + k_a (T_f - T_{uc})$$

En donde: P_f = población proyectada y T_f = año de la proyección.

1. Tomando como referencia los datos de los censos de población del distrito de Puerto Viejo mostrados en el Cuadro 2 y aplicando las ecuaciones del método de crecimiento lineal, se obtuvieron las proyecciones de población mostradas en el Cuadro 2., donde se resumen los datos obtenidos para los años

2010, 2015, 2020 y 2025; los resultados de proyección de población para cada año en particular pueden analizarse detalladamente en la hoja de cálculo "Población de Diseño"

del Anexo 8 "Proyección de Población para el cantón de Puerto Viejo".

Cuadro 4
Proyección de población para el distrito de Puerto Viejo
Método de crecimiento lineal

Zona de estudio	Población (No.Habitantes)			
	2010	2015	2020	2025
Puerto Viejo de Sarapiquí	22 229	24 926	27 623	30 319

* $k_a = 539,33$ habitantes/año (Pendiente de la recta, método lineal).

c) Método del crecimiento geométrico

$$\text{Log } P_f = \text{Log } P_{uc} + (T_f - T_{uc}) \text{Log } (1 + r)$$

Según la Referencia 2, el crecimiento será de tipo geométrico si el aumento de población es proporcional al tamaño de esta. En tal caso, el patrón de crecimiento es el mismo que el de interés compuesto, el cual se expresa así:

$$P_f = P_{uc} (1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

En donde r es la tasa de crecimiento anual. Tomando logaritmos a ambos lados de la anterior ecuación, se obtiene la relación de igualdad de proyección de población:

Por otra parte, reemplazando los valores del último censo y del censo inicial en la ecuación anterior, se obtiene la tasa de crecimiento anual (r), valor que debe ser reemplazado en la primera ecuación para hacer la proyección de población. En nuestro caso en particular, la tasa de crecimiento anual para el distrito de Puerto Viejo fue del 7.70%, valor que fue utilizado para calcular los resultados del Cuadro 5, para los años 2010, 2015, 2020 y 2025 (los resultados de proyección de población para cada año en particular pueden analizarse detalladamente en la hoja de cálculo "Población de Diseño" del Anexo 8 "Proyección de Población para el cantón de Puerto Viejo"..

Cuadro 5
Proyección de población para el distrito de Puerto Viejo
Método de crecimiento geométrico

Zona de estudio	Población (No. habitantes)			
	2010	2015	2020	2025
Puerto Viejo de Sarapiquí	35 339	51 199	74 178	107 469

*Tasa de crecimiento anual (r) = 0.0769

d) Método del crecimiento logarítmico

Si el crecimiento de la población es de tipo exponencial, la población se proyecta a partir de la siguiente ecuación:

$$dP/dT = kg P ; dP/P = kg dT$$

Integrando la ecuación anterior entre dos lapsos cualesquiera, se tiene:

$$Kg = (LnP_{cp} - LnP_{ca}) / (T_{cp} - T_{ca})$$

donde el subíndice *cp* corresponde al censo posterior y el subíndice *ca*, al censo anterior. La aplicación de este método requiere el conocimiento de por lo menos tres censos, ya que al evaluar un *Kg* promedio se necesita de un mínimo de dos valores de *Kg*. Haciendo una integración abierta de la primera ecuación se obtiene:

$$Ln P + C = Kg T ; \text{ para } T=0 \Leftrightarrow P = P_{ci}$$

$$\Leftrightarrow C = - Ln P_{ci}$$

Reemplazando el valor promedio de *Kg* obtenido en la ecuación anterior, la ecuación de proyección de población será:

$$Ln P_f = Ln P_{ci} + Kg (T_f - T_{ci})$$

El resumen de los resultados de proyección de población obtenidos mediante la utilización de las ecuaciones anteriores se muestra en el *Cuadro 6*

Al utilizar como base de proyección los censos de 1973, 1984 y 2000, se obtuvieron dos valores de *Kg* o tasa de crecimiento exponencial: 5,37 y 8,82% para los censos 1973 -1984 y 1984 - 2000 respectivamente. Esto quiere decir que la tasa de crecimiento exponencial promedio es del 7,1% para el distrito de Puerto Viejo.

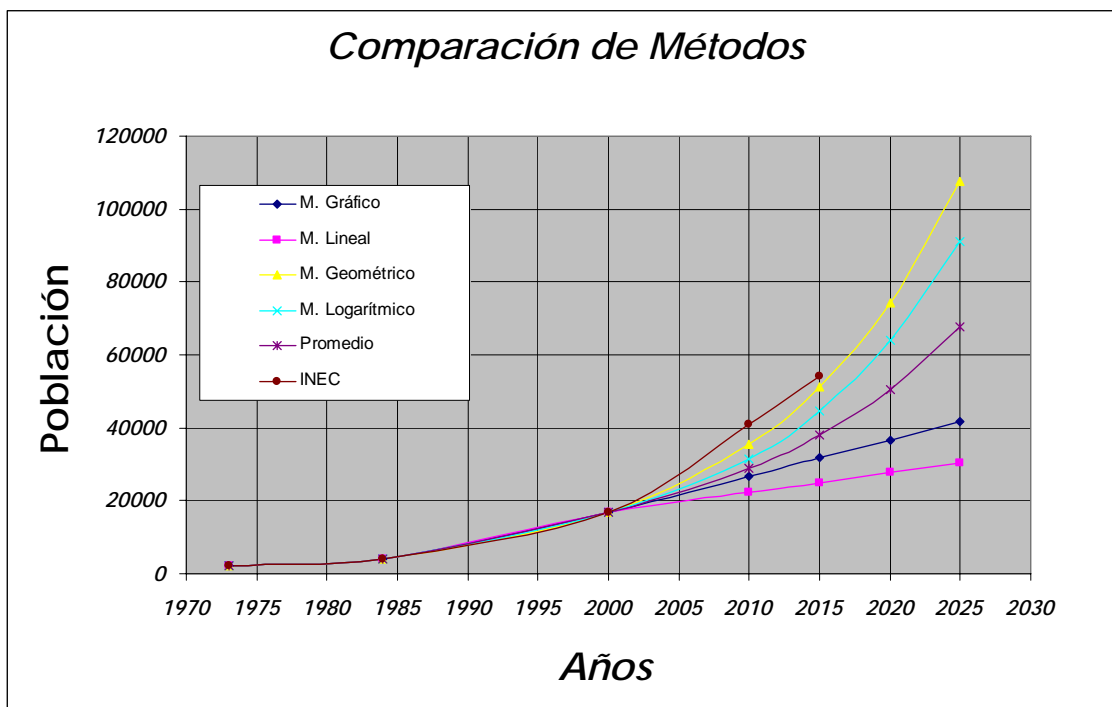
Cuadro 6
Proyección de población para el distrito de Puerto Viejo
Método de crecimiento logarítmico

Zona de estudio	Población (No. habitantes)			
	2010	2015	2020	2025
Puerto Viejo de Sarapiquí	31 407	44 782	63 855	91 049

Cuadro 7
Proyección de población para el distrito de Puerto Viejo
Comparación de resultados obtenidos

Población proyectada para cada método utilizado (No. De habitantes)						
Año	Lineal	Geométrico	Logarítmico	Gráfico	Promedio	INEC
2005	19 533	24 392	22 026	22 350	22 075	27 639
2010	22 229	35 339	31 406	26 629	28 901	40 804
2015	24 926	51 199	44 782	31 685	38 148	54 286
2020	27 623	74 178	63 854	36 741	50 599	ND
2025	30 319	107 469	91 049	41 759	67 649	ND

Gráfico 2
Proyección de población para el distrito de Puerto Viejo
Curvas de crecimiento de población según los diferentes métodos utilizados



Analizando la información de la ilustración anterior, se puede observar que las curvas correspondientes a los métodos de comparación gráfica y lineal presentan valores muy bajos en relación con las demás proyecciones. Estos dos métodos no serán tomados en cuenta para el cálculo de la población de diseño, ya que al

promediar los valores de los diferentes métodos obtendríamos un valor muy poco confiable. Además, el método de proyección lineal es completamente teórico y rara vez se da el caso de que una población presente este tipo de crecimiento; en nuestro caso en particular, se puede verificar esta situación al observar que los

factores de crecimiento para el distrito de Puerto Viejo varían bastante entre cada censo de población, por lo que el método lineal no se aplica del todo para nuestro fin.

Tomando en cuenta que los datos resultantes de la utilización de los métodos geométrico y logarítmico arrojaron una curva característica que obedece a la del crecimiento histórico de Puerto Viejo de Sarapiquí, y que a la vez es similar a la curva de proyección del INEC, se utilizará como población de diseño la obtenida a partir de la utilización del método logarítmico, ya que el crecimiento característico de la población de Puerto Viejo es de tipo exponencial. Los valores de población del distrito de Puerto Viejo que se utilizarán como referencia serán los mostrados en el *Cuadro 6*.

Tal como se había mencionado en el apartado 2 del presente capítulo, la población de la zona de estudio está constituida por solo una parte de los habitantes del distrito de Puerto Viejo, ya que no todos los sectores que componen el distrito son abastecidos por el acueducto por optimizar. En el censo de población realizado por el INEC en el año 2000, existe una amplia información sectorizada del área que actualmente abastece el acueducto y que es denominada en dicho estudio como Zona 3.

Al comparar las poblaciones del censo del año 2000 para la Zona 3 (2 822 habitantes) y para el distrito total de Puerto Viejo (16 836 habitantes), se obtuvo que la zona de estudio corresponde al 16,76% del total de la población para ese año, por lo que se aplicará este porcentaje a los valores del *Cuadro 6* a fin de determinar el número de habitantes que deberá abastecer el acueducto hasta el año 2025. La población más probable de la zona de estudio se muestra a continuación, en el *Cuadro 8*.

Cuadro 8
Proyección más probable de población para la zona en estudio

Año de proyección	Población (No. habitantes)			
	Distrito de Puerto Viejo	Zona de estudio	Puerto Viejo	La Guaría
2005	22 026	3 692	1 745	1 947
2010	31 406	5 264	2 488	2 726
2015	44 782	7 505	3 547	3 958
2020	63 854	10 702	5 058	5 644
2025	91 049	15 260	7 213	8 047

Los datos mostrados en el cuadro anterior concuerdan con las proyecciones de población realizadas en el año 1985 por el Departamento de Estudios Básicos del AyA para la misma zona en estudio, donde se proyectó, para el año 2005, un total de 3 272 habitantes a quienes se les deberá dotar de agua potable; comparando estos valores con el dato actual del acueducto, tenemos 629 previstas en uso, por lo que considerando un núcleo familiar de 6 personas en promedio por servicio se obtiene 3 774 personas, valor muy cercano al obtenido. Por lo que asume los resultados obtenidos en el *Cuadro 8* como valores de población que regirán el diseño.

Distribución futura de la población

Las inundaciones constantes que afectan el área de estudio es la principal limitante en relación con el desarrollo urbano en la zona, ya que el centro de Puerto Viejo es un puerto fluvial del Río Sarapiquí, factor que influye directamente en la escogencia de la densidad de saturación. Tomando en cuenta que la zona es una área con un alto potencial de crecimiento urbanístico, y que ya existen sitios con características semejantes cuya densidad de población es de 150 hab/ha, se consideró ese mismo parámetro como la densidad de saturación para la zona de estudio.

La distribución de la población se llevó a cabo mediante el siguiente procedimiento:

1. Se tomó la misma sectorización propuesta por el INEC para el censo del 2000 en el área de estudio. La Zona 3 está conformada por un total de 13 sectores, codificados con el mismo orden numérico, cada uno de los cuales presenta diferentes densidades actuales de población. En el apartado de Anexo 2 se junta la sectorización adoptada para el presente cálculo.

2. Como se cuenta con los datos de población para cada sector de acuerdo con el censo del 2000, se calcularon los porcentajes correspondientes con respecto al total de la población de la zona en ese mismo año. Dichos porcentajes se aplicaron al valor total de población del área de estudio para el año 2005, con el propósito de obtener el número de habitantes por sector.

3. El número de habitantes del 2005 de cada uno de los 13 sectores se multiplicó por el factor de crecimiento que resulta de dividir la población futura entre la población actual.

4. De acuerdo con lo calculado en el punto anterior y con las áreas de cada sector, se

calculó la densidad de población por sector.

5. En las zonas donde la densidad excede a 150 hab/ha, el excedente se reparte en forma proporcional a las áreas restantes. Como ejemplo en el Cuadro 9 se observa que, para el año 2015, el sector 10 alcanza una densidad de población de 150.19 Hab/Ha, por lo que para el año 2025 la población en aumento no es aportada a este sector, manteniendo la densidad de saturación obtenida en el 2015. Puesto que cada sector posee un porcentaje de aporte con respecto al total de la población, el excedente de la población que correspondía al sector 10 (por ejemplo), fue distribuido en los demás sectores de acuerdo a su respectivo porcentaje de aporte.

En el Cuadro 9 se resume la información calculada mediante el procedimiento descrito; en dicho cuadro se pueden observar los valores de población y densidad por sector para los años 2005, 2015 y 2025.

Cuadro 9
Distribución futura de la población
Acueducto de Puerto Viejo de Sarapiquí

Sector	Área (Ha)	2005		2015		2025	
		Población (hab)	Densidad (hab/Ha)	Población (hab)	Densidad (hab/Ha)	Población (hab)	Densidad (hab/Ha)
1	48,72	297	6,10	635	13,03	1412	28,98
2	72,1	282	3,91	601	8,34	1339	18,57
3	11,3	349	30,88	744	65,84	1655	146,46
4	6,15	284	46,18	606	98,54	923	150,08
5	6,45	295	45,74	629	97,52	968	150,08
6	17,6	272	15,45	581	33,01	1318	74,89
7	9,6	206	21,46	442	46,04	978	101,88
8	15,22	184	12,09	393	25,82	871	57,23
9	11,53	413	35,82	878	76,15	1730	150,04
10	2,57	333	129,57	386	150,19	386	150,19
11	14,85	333	22,42	707	47,61	1579	106,33
12	52,6	172	3,27	367	6,98	794	15,10
13	9,48	272	28,69	536	56,54	1307	137,87
Total	278,17	3692	30,89*	7505	55,82*	15260	99,05*

* Densidad de población promedio para el año analizado.

Poblaciones nodales

Con el propósito de obtener las correspondientes poblaciones nodales para cada período mostrado en el *Cuadro 9*, se multiplica la respectiva área nodal por la densidad del sector correspondiente en donde se ubica el nodo (Ver *Cuadro 10*). La numeración utilizada corresponde a la adoptada por el AyA para el diseño original del acueducto en 1987.

La ubicación exacta de los nodos se muestra en los planos de construcción en n en el Anexo .

Cuadro 10
Poblaciones nodales en la zona de estudio
Acueducto de Puerto Viejo de Sarapiquí

Ítem	Nodo	2005	2015	2025
1	204	51	109	242
2	119	113	241	537
3	118A	89	190	422
4	118	36	78	173
5	117	123	262	584
6	116A	84	179	399
7	116	25	54	120
8	115	28	59	132
9	114	18	38	86
10	113	16	33	74
11	112	27	172	262
12	120	41	87	194
13	121	60	129	191
14	123	44	95	141
15	124A	51	108	241
16	124	60	128	190
17	123A	25	53	119
18	128C	37	80	178
19	128B	24	193	294
20	128A	17	36	79
21	125	68	144	222
22	125A	63	133	205
23	111	130	276	425
24	110	75	162	263
25	127	32	69	154
26	126	40	85	189

Ítem	Nodo	2005	2015	2025
27	128	30	63	141
28	129	58	124	275
29	126A	29	62	137
30	109	23	49	108
31	108	20	43	96
32	107	164	350	794
33	105	24	52	558
34	88/252	26	56	120
35	253	37	80	172
36	254	28	59	128
37	255	16	34	73
38	256	20	43	92
39	257	12	27	58
40	72	128	272	787
41	87	33	69	150
42	71	114	287	700
43	70	185	364	887
44	69	45	88	215
45	68	128	148	148
46	67	59	126	281
47	66	72	83	83
48	65	272	316	316
49	64	88	187	369
50	63	189	219	219
51	62	24	50	99
52	61	19	41	81
53	60	44	87	212
54	59	21	42	102
55	58	15	29	71
56	57	20	43	78
57	56	27	58	104
58	55	35	75	148
59	54	31	66	130
60	53	143	304	598
61	52	148	314	619
Totales		3 692	7 505	15 260

Consumo y Demanda de Agua

Generalidades

Tal y como lo indica la Referencia 2, el complemento necesario para establecer el caudal en el diseño de un acueducto es la determinación del consumo de agua. El consumo es el volumen de agua utilizado por una persona en un día y se expresa por lo general en litros por habitante y por día (L/hab-día).

El uso local depende de ciertos factores como el tamaño de la comunidad, la presencia de industrias, la calidad del agua, su costo, su presión, las características socioeconómicas de la población, si los abastecimientos cuentan con medidores y la efectividad con la cual el sistema es mantenido.

- *Tamaño del área por servir.* Es bien sabido que las comunidades pequeñas son más propicias a tener áreas inadecuadamente servidas, tanto de agua como de alcantarillado, por lo que la ampliación de estos servicios podría incrementar el uso de agua.
- *Las características de la población,* en particular el nivel económico, pueden producir variaciones sustanciales del gasto promedio; por esta razón, en ciudades desarrolladas el consumo de agua es mucho mayor que en pueblos pequeños. Para nuestro caso en particular, es de esperarse que la dotación total promedio de Puerto Viejo sea baja en comparación con otras zonas vecinas urbanamente más desarrolladas.
- *La medición* del agua abastecida a usuarios individuales ha mostrado una reducción sustancial en el consumo, hasta un 50%. Cuando no se utilizan medidores, los usuarios no tienen

incentivo para conservar el agua y su desperdicio es un hecho. La medición es también conveniente porque permite analizar patrones de uso de diferentes clases de usuarios y, por consiguiente, provee una información útil en el planeamiento de la expansión de instalaciones y en la valoración de la magnitud de pérdidas debido a fugas en el sistema de distribución. Dado que el acueducto en estudio implementó hace dos años la instalación de medidores, el factor de consumo será de 1,00 para la determinación de la demanda del sector.

- *Otros factores diversos* que influyen en el consumo son el clima, la calidad, la presión, las costumbres de la población, el sistema de mantenimiento y los programas de conservación. Durante épocas de calor el consumo de agua se incrementará como resultado del aumento del aseo personal. Por otro lado, el agua de mala calidad (con color, olorosa u objetable de otro modo) será menos utilizada que el agua de calidad satisfactoria para los consumidores; de esta relación se podría reconocer que el mejoramiento de la calidad de un abastecimiento público genere probablemente un incremento del consumo.
- *La alta presión* en el sistema también produce un mayor uso; además, incrementa pérdidas por fugas. Al disminuir la presión del agua se puede reducir el uso por habitante hasta en un 6%.
- *Un programa de mantenimiento* bien diseñado y una adecuada inspección del sistema ayuda en la detección tanto de fugas en las tuberías como de la presencia de conexiones sin autorización.

Consumo actual de agua

Como se comentó anteriormente, la Asociación Administradora del Acueducto (ASADA) de Puerto Viejo de Sarapiquí implementó hace poco tiempo, la instalación de medidores de flujo con el propósito de controlar adecuadamente el consumo de los habitantes del sector. Por lo tanto, los datos existentes sobre el suministro de agua para el presente estudio son los informes mensuales elaborados para los efectos de cobro, los cuales incluyen los caudales registrados en los medidores y el número de previstas existentes.

Actualmente, el acueducto de Puerto Viejo está conformado por un total de 629 previstas o servicios activos, distribuidas por la ASADA en cuatro sectores: La Guaria, Puerto Viejo 1, Puerto Viejo 2 y Puerto Viejo 3.

El desglose de los consumos registrados mensualmente para efectos de cobro del servicio de agua potable se muestran en el *Cuadro 11*. En dicha información se puede observar que el consumo mensual promedio de la población en estudio es de 18,943 m³/mes; de manera que relacionando los datos ya conocidos de consumo mensual promedio y el número de previstas activas existentes, se obtuvo un consumo de 30,12 m³/prevista.

Es importante aclarar en este apartado, que la administración del acueducto posee una única tarifa domiciliaria. De manera que la dotación promedio diaria de Puerto Viejo se calculará con el dato total de consumo de todo el acueducto (sin la distinción de tarifas).

Cuadro 11
Consumo mensual medido en m³
Acueducto Puerto Viejo de Sarapiquí

Mes / Año	Consumo (m ³ /mes)
Ene-04	26 448
Feb-04	18 990
Mar-04	23 541
Abr-04	33 278
May-04	8 307
Jun-04	14 590
Jul-04	24 731
Ago-04	10 966
Sep-04	17 637
Oct-04	23 961
Nov-04	17 033
Dic-04	18 772
Ene-05	8 005
Promedio	18 943
Mínimo	8 005
Máximo	33 278
Desv. Estan	7 430

Proyección de la demanda

En el punto anterior se obtuvo un valor mensual de consumo de 30,12 m³ de agua potable por cada prevista existente; de modo que utilizando 30 como el número de días del mes promedio del período de análisis, y considerando un tamaño familiar de 4,7 personas por servicio (de acuerdo con el Informe Censal de Población del INEC para la zona de Puerto Viejo en el año 2000), se tiene que la dotación diaria (*D**) para el área de estudio es:

$$\text{Dotación diaria neta } (D^*) = (30,12\text{m}^3/\text{prevista} \times 1000) / (30\text{días} \times 4,7\text{pers}/\text{prevista}) = 213,6 \text{ L/pers-día}$$

Para obtener la demanda total de diseño se debe sumar a la dotación diaria calculada anteriormente, el valor correspondiente a la cantidad de agua no controlada en el sistema. Dicho valor se obtiene a partir de la comparación entre el agua producida y la brindada a los

abonados; dado que la administración del acueducto no lleva un control regular del agua que se produce mensualmente, por lo menos en el último año, se utilizará un porcentaje de agua no controlada basado en las mediciones de otras regiones del país.

Para nuestro caso en particular, asumiremos que el porcentaje de agua no controlada será del 25%, dado que este es un valor bastante aceptable de acuerdo con los índices que se presentan en otras poblaciones del país (en San Juan de San Ramón (Alajuela) es de 23,9%; y en Guácimo de Limón el porcentaje es aproximadamente del 25%), y porque de acuerdo con la bibliografía técnica especializada, un valor menor a 20% es muy difícil de obtener.

La demanda promedio total de diseño (*D diseño*) será calculada mediante la siguiente fórmula:

$$D \text{ diseño} = D^* \times Fc \times ANC = 213,6 \text{ L /pers-día} \times 1,25 = 267 \text{ L /pers-día}$$

donde:

- D^* = dotación diaria neta (L /pers-día)
- Fc = factor de consumo (por existir medición de los servicios, el factor es igual a 1,00)
- ANC = porcentaje de agua no controlada

Para efectos de proyectar la demanda, el valor anterior se redondeará a 267 L/pers-día. En el Cuadro 12 se muestran los caudales demandados para un período de diseño de 20 años (del año 2005 al 2025).

Cuadro 12
Caudales demandados en litros por segundo
Acueducto Puerto Viejo de Sarapiquí

Año	Población (No.habitantes)	QPD (L/s)	QMD (L/s)	QMH (L/s)
2005	3 692	11,41	14,26	22,82
2010	5 264	16,27	20,33	32,53
2015	7 505	23,19	28,99	46,39
2020	10 702	33,07	41,34	66,14
2025	15 260	47,16	58,95	94,32

QPD* = caudal promedio diario

QMD* = caudal máximo diario (utilizando un factor máximo diario de 1,25 del QPD)

QMH* = caudal máximo horario (utilizando un factor máximo horario de 2,0 del QPD)

Como referencia de los consumos típicos en nuestro país, en el Cuadro 13 se presenta una serie de valores de consumo neto domiciliario y de demanda neta domiciliario por persona (L/hab/día); los primeros fueron estimados con base en datos de facturación correspondientes a los sistemas y períodos que se indican, y los segundos, tomados de estudios técnicos que ha realizado el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) para diversos acueductos del país.

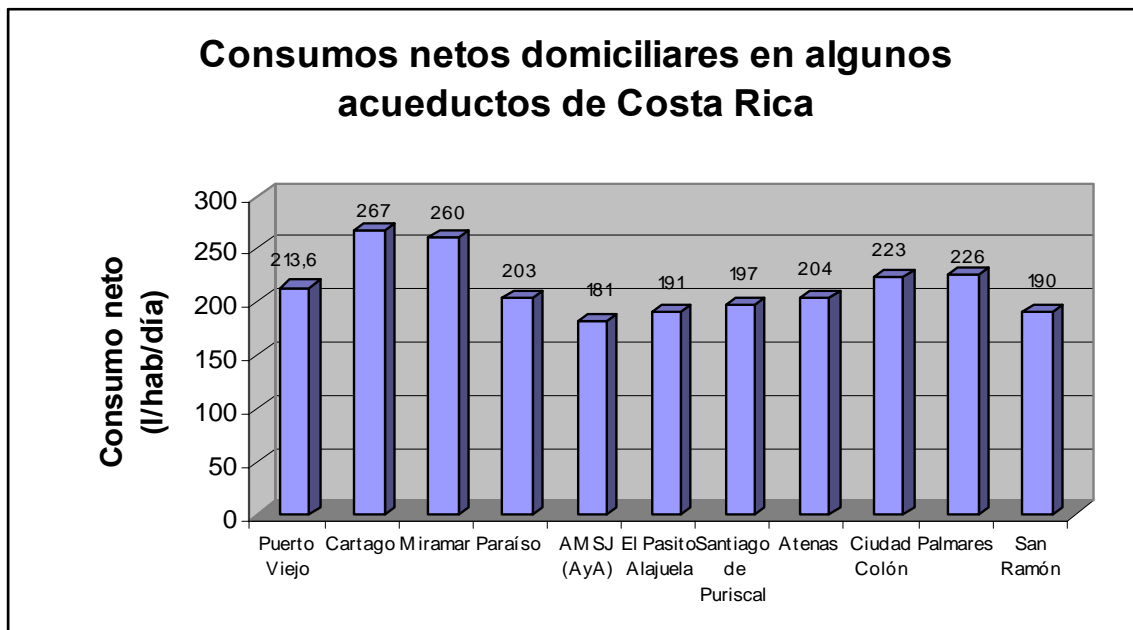
Cuadro 13
Consumos reales y demandas estimadas en varios acueductos del país

Localidad	A*	B*	C*	D*	E*	F*
Puerto Viejo	30,12	213,60	25,0%	53,40	267,00	83,60%
Cartago	33,30	267,00	15,70%	42,00	308,00	73,60%
Miramar	32,44	260,00	9,30%	24,00	284,00	93,00%
Paraíso	25,90	203,00	26,60%	54,00	257,00	83,40%
AMSJ (AyA)	22,02	181,00	35,40%	64,00	245,00	85,80%
El Pasito Alajuela	23,17	191,00	11,90%	23,00	213,00	97,50%
Santiago de Puriscal	22,77	197,00	22,20%	44,00	241,00	97,40%
Atenas	23,59	204,00	13,10%	27,00	231,00	96,10%
Ciudad Colón	25,72	223,00	10,60%	24,00	246,00	99,90%
Palmares	26,12	226,00	10,50%	24,00	250,00	88,40%
San Ramón	21,37	190,00	20,00%	38,00	228,00	96,50%

Fuente: Informe Concesa, Anexo 5

- A*: Consumo promedio domiciliar (m³/serv/mes)
- B*: Consumo neto domiciliar (L/hab/día)
- C*: Consumo neto no domiciliar (%) – respecto al consumo neto domiciliar
- D*: Consumo neto no domiciliar (L/hab/día)
- E*: Consumo neto total (L/hab/día)
- F*: % de medición con respecto a los servicios totales

Gráfico 3
Consumos netos domiciliarios en algunos acueductos de Costa Rica



Fuente: Informe Concesa, Anexo 5

Distribución futura de la demanda

La distribución de la demanda futura resulta de aplicar la dotación de 267 litros por persona por día a las poblaciones nodales del *Cuadro 14* del Capítulo II. Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 14
Demandas nodales en litros por segundo
Acueducto Puerto Viejo de Sarapiquí

Íteme	Nodo	2005	2015	2025
1	204	0,157	0,336	0,747
2	119	0,349	0,745	1,659
3	118A	0,275	0,586	1,305
4	118	0,112	0,240	0,534
5	117	0,380	0,811	1,803
6	116A	0,259	0,553	1,232
7	116	0,078	0,166	0,370
8	115	0,086	0,183	0,407
9	114	0,056	0,119	0,265
10	113	0,048	0,102	0,228
11	112	0,083	0,532	0,810
12	120	0,127	0,270	0,601
13	121	0,186	0,397	0,590
14	123	0,137	0,293	0,435
15	124A	0,157	0,335	0,746
16	124	0,185	0,394	0,586
17	123A	0,077	0,165	0,367
18	128C	0,116	0,247	0,549
19	128B	0,073	0,596	0,908
20	128A	0,052	0,110	0,244
21	125	0,209	0,445	0,686
22	125A	0,193	0,412	0,634
23	111	0,401	0,854	1,314
24	110	0,233	0,499	0,812
25	127	0,100	0,214	0,474
26	126	0,123	0,263	0,583
27	128	0,092	0,196	0,434
28	129	0,180	0,384	0,850

Íteme	Nodo	2005	2015	2025
29	126A	0,089	0,191	0,423
30	109	0,070	0,150	0,333
31	108	0,063	0,134	0,297
32	107	0,506	1,081	2,452
33	105	0,075	0,161	1,725
34	88/252	0,080	0,172	0,371
35	253	0,115	0,246	0,532
36	254	0,086	0,183	0,395
37	255	0,049	0,104	0,225
38	256	0,062	0,132	0,285
39	257	0,039	0,082	0,178
40	72	0,396	0,840	2,433
41	87	0,100	0,214	0,464
42	71	0,352	0,887	2,163
43	70	0,571	1,125	2,742
44	69	0,138	0,273	0,666
45	68	0,394	0,457	0,457
46	67	0,183	0,389	0,870
47	66	0,221	0,256	0,256
48	65	0,842	0,976	0,976
49	64	0,272	0,579	1,140
50	63	0,583	0,676	0,676
51	62	0,073	0,155	0,306
52	61	0,060	0,127	0,251
53	60	0,136	0,268	0,654
54	59	0,066	0,130	0,316
55	58	0,045	0,090	0,218
56	57	0,062	0,132	0,240
57	56	0,084	0,178	0,322
58	55	0,109	0,232	0,456
59	54	0,096	0,204	0,403
60	53	0,441	0,938	1,848
61	52	0,456	0,970	1,912
Totales		11,410	23,190	47,160

Funcionamiento Actual del Sistema

Generalidades del Sistema

Antes del año 1987, Puerto Viejo de Sarapiquí, con aproximadamente 700 habitantes, se abastecía de agua mediante pozos y recolección de agua en ríos y quebradas cercanas. Es por esto que el AyA vuelve su mirada hacia esta comunidad para proponer el diseño y la construcción de una red de cañería para abastecer a esta localidad, y dar cumplimiento a la ley por la que fue creado este instituto, cuyo fin se resume en dotar de agua potable a los habitantes de nuestro país.

Este acueducto, diseñado por el AyA en 1987, nunca fue tomado en cuenta por la Municipalidad del cantón de Puerto Viejo, por lo que se buscó un ente rector que se encargara de administrarlo y que contara con el apoyo logístico del AyA para su implementación; dicho ente llegó a ser la ASADA (Asociación Administradora del Acueducto).

Para esa fecha, el sistema implementado por AyA era suficiente para abastecer a la cantidad de personas que en ese momento tenía la población.

El acueducto contaba con una tubería de conducción de 200 mm de diámetro que salía de la naciente y llegaba hasta el centro de la comunidad, para luego distribuir el agua potable en el centro de Puerto Viejo y en la comunidad de La Guaria.

Para 1997, la población (y consecuentemente, la demanda) había aumentado aproximadamente hasta los 2 500 habitantes, por lo que el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados realiza un rediseño de la red y aconseja implementar medidas correctivas para no causar el racionamiento o desabastecimiento de las comunidades. Lo anterior, tomando en cuenta que según las proyecciones poblacionales calculadas por esta misma entidad, el caudal de la naciente podía satisfacer la demanda hasta el año 2015.

En 1999 se realizan las mejoras planteadas a la red de agua potable, se instala una línea de conducción paralela a la existente, con diámetros de 200 mm y 150 mm, se construyen dos tanques de almacenamiento de 150 m³ y 300 m³ de capacidad, una estación de bombeo con dos bombas sumergibles de 15 y 30 HP respectivamente, así como sus respectivas líneas de impulsión y distribución. Sin embargo, en el *Cuadro 15* la proyección de la población realizada por AyA no varía con respecto a la proyección demográfica que se presenta anteriormente, la dotación asumida por ese Instituto es baja, situación que provocó un diseño que no se adecua al a las exigencias actuales del sistema

Dado que la población continúa demandando volúmenes excesivos de agua, la Asociación Administradora del Acueducto (ASADA) intenta crear conciencia en los abonados en cuanto a hábitos sostenibles de consumo, pues a ese ritmo tan acelerado, la población dejaría de contar con la suficiente cantidad de líquido requerido para sus necesidades. Por esto, para el 2003 la ASADA implementa el uso de medidores en cada casa, comercio e industria de la comunidad que estuviera conectada al sistema, lo cual provoca una disminución considerable del consumo. En la actualidad, casi un 84% de los abonados cuentan con medición y se ha disminuido considerablemente el uso desmedido del líquido.

La Administración realiza mediciones mensuales de los hidrómetros y realiza los cobros a todos sus abonados, de manera que con los ingresos, se brinda el mantenimiento necesario a la red, que en su tramo de conducción presenta serias desventajas de vulnerabilidad ante fenómenos de la naturaleza.

Condiciones de diseño asumidas por Acueductos y Alcantarillados

El acueducto abastece las comunidades de Puerto Viejo y La Guaria, del distrito 1^{ero} del cantón de Sarapiquí, de la provincia de Heredia.

Los parámetros y datos bajo los que se rediseñó este acueducto en 1999 se detallan a continuación:

Cuadro 15
Condiciones de Rediseño del Acueducto,
asumidos por AyA en el año de 1997

Número de casas equivalentes	700
Población actual (proyectada al 2005, habitantes)	4 200
Periodo de diseño (años)	20
Tasa de crecimiento (%)	3.50
Dotación (l/h/d)	150
Factor máximo diario	1.25
Factor máximo horario	1.50

Descripción del sistema

Mediante la inspección y evaluación realizada en el campo, y el análisis de los planos de construcción del acueducto, se pudo constatar que la captación en la naciente se lleva a cabo por medio de un tanque asentado de concreto, el cual recolecta un caudal de producción de 12 L/s (ver registro de aforos en el apartado de Anexo 6).

El sistema de abastecimiento está compuesto básicamente por dos líneas de conducción en paralelo, que transportan el líquido desde la naciente hasta el punto de entrada a Puerto Viejo de Sarapiquí. En este sitio, la conducción toma dos direcciones:

- La primera se dirige hacia la estación de bombeo, desde donde se impulsa el agua hacia un tanque de almacenamiento ubicado a una cota de elevación 48 metros mayor, para luego descargar por gravedad y abastecer de esta forma a la comunidad de La Guaria.
- El otro tramo de conducción no funciona bajo la secuencia "bombeo-almacenamiento-descarga por gravedad", sino que se distribuye directamente en la red del centro de la comunidad de Puerto Viejo.

El agua conducida a través del primer tramo (La Guaria) es impulsada mediante dos bombas de 15 y 30 HP respectivamente; se bombea un

caudal aproximado de 5,874 L/s que va al tanque de almacenamiento ubicado a unos 48 m por encima de esta comunidad, desde donde se abastecen por gravedad los seis ramales construidos operando en la actualidad. La segunda línea (Puerto Viejo) se encarga de abastecer de agua a catorce ramales que se encuentran en funcionamiento y que demandan 5,265 L/s.

En la actualidad, el sistema demanda un caudal promedio diario de 11,419 L/s. Puesto que la capacidad de producción de la naciente es ligeramente mayor a dicho valor, se deduce que el agua que se conduce debería ser suficiente para abastecer a las dos comunidades; sin embargo, por problemas de vulnerabilidad (básicamente inundaciones, conexiones ilícitas, fugas, malos sistemas de anclaje en tuberías) en la conducción, no se cuenta con la presión de servicio requerida (debe ser mayor a 10 m.c.a. ó a 1 kg/cm²). Esto hace que en la realidad, la comunidad de La Guaria solo reciba agua de 4a.m. a 10a.m.; fuera de este horario, la presión decae y no es suficiente para abastecer a la población. El tanque de almacenamiento no cuenta con el tiempo necesario para ser llenado, dado que el caudal de entrada no es suficiente; es decir, este depósito solo está cumpliendo la función de dar energía al agua para que haya presión suficiente; sin embargo, conforme aumenta la demanda (según la variación horaria) este no es suficiente para mantener la presión del servicio.

Por otra parte, el sistema de abastecimiento de Puerto Viejo sí suministra agua potable a la comunidad durante la mayor parte del día, pero siempre existen los problemas de bajas presiones en la red, especialmente durante las horas pico de consumo.

Fuentes de abastecimiento

Actualmente, el sistema con el que se abastecen las dos comunidades en cuestión es una naciente que alimenta el sistema de conducción en paralelo, ubicada aproximadamente a 10 km al suroeste de Puerto Viejo y a una elevación de 70m (nivel topográfico establecido por AyA). El sitio de la captación se ubica en la hoja cartográfica "Río Cuarto", escala 1:50000, entre las coordenadas 535-536 N y 264-265 E, Anexo 3.

El sitio está conformado por un pequeño manantial (ojo de agua) que aflora en la superficie y al pie de una pequeña loma. Según análisis químicos realizados con anterioridad en la naciente, el agua posee niveles de salinidad relativamente altos (cloruros: 40,50 mg/L), hidocarbonatos altos (267 mg/L, lo que provoca el sabor tan particular del agua) y una dureza total de 230 mg/L.

La naciente tiene una producción promedio de 12 L/s. En el sitio se encuentra un tanque de captación asentado en concreto que requiere reparaciones importantes por el tiempo de servicio durante el cual ha operado.



Foto 4 Sitio de captación de naciente

Tanques de almacenamiento

El acueducto cuenta con 2 tanques asentados de concreto a una elevación de 48m por encima de la comunidad de La Guaria. Estos se construyeron con el fin de abastecer a dicha comunidad por gravedad, desde una estación de bombeo que por medio de una tubería de impulsión llevaría el caudal hasta estos tanques

con capacidad de 150 m³ y 300 m³, y los cuales se encargarían de distribuir el agua a la población.

En este momento, solo funciona el tanque de 150 m³ como punto de energía para el sistema, ya que no se cuenta con el caudal suficiente para llenar ambos, y consecuentemente no se da el servicio de suministro de agua las 24 horas a esa comunidad.

Por otro lado, el tanque cisterna tiene una capacidad de 50m³, el cual cuenta con sistemas de sensores de medición de niveles de agua almacenada para activar el sistema de bombeo cuando este así lo requiera.



Foto 5 Tanques de almacenamiento para la comunidad de La Guaria, Volúmenes de almacenamiento 150m³ y 300m³.

Tuberías

Tal y como se puede observar en el Cuadro 16, la extensión de las tuberías del sistema es considerable, razón de sobra para optimizar las labores de operación y mantenimiento que actualmente se brindan en el acueducto.

Sistema de bombeo

La línea de conducción de *La Guaria* cuenta con una estación de bombeo con dos equipos sumergibles, los cuales elevan el nivel piezométrico a una altura de 91,82 m.c.a. (62,18 m.c.a. con pérdidas), con capacidad para bombear hasta 45 L/s mediante dos bombas en serie (una de 20 HP y otra de 30 HP), generando

pérdidas del orden de 8,32 m por fricción en la tubería de succión, impulsión y accesorios.

Como se comentó anteriormente, se cuenta con un tanque cisterna de 50 m³ que se encarga de recolectar el agua para que las bombas se activen. Dado que el caudal disponible no es el requerido, solo se mantiene en funcionamiento la bomba de 30HP en forma intermitente para que el cisterna de 50m³ tenga tiempo de llenarse. Este sistema se encarga de llenar los dos tanques de almacenamiento (150m³ y 300m³) ubicados a una altura de 107m (nivel topográfico establecido por AyA). Pero por los problemas antes mencionados, solo el tanque de almacenaje de 150m³ se encuentra en funcionamiento, lo que hace insuficiente el volumen almacenado para su posterior distribución.

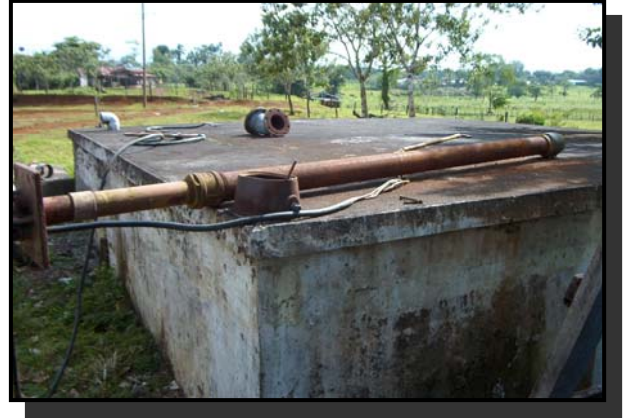


Foto 7 Tanque para bombeo 50m³



Foto 6 Estación de Bombeo La Guaría

Cuadro 16
Longitud de tuberías por diámetros y cédula del acueducto de Puerto Viejo de Sarapiquí

Tubería de conducción (de naciente al punto 88)			
Tramo	Longitud	Diámetro	Cédula
1a	4 108.00 m	200 mm	SDR-41
1b	6 092.50 m	150 mm	SDR-41
2a	398.70 m	200 mm	SDR-41
2b	9 801.80 m	150 mm	SDR-41
			Longitud
10 110.50 m			
Tubería de bombeo La Guaria (punto 88 al punto 15')			
Tramo	Longitud	Diámetro	Cédula
Impulsión	1 020.50 m	200 mm	SDR-26
Impulsión	281.25 m	200 mm	SDR-32.5
Distribución	1 301.75m	200 mm	SDR-32.5
			Longitud
2 603.50 m			
Tubería de distribución La Guaria (punto 88 al punto 46)			
Longitud	Diámetro	Cédula	
871.35 m	150 mm	SDR-41	
1 740.00 m	100 mm	SDR-41	
1 333.80	50 mm	SDR-41	
230.00	38 mm	SDR-41	
			Longitud
4 175.15 m			
Tubería de Distribución La Guaria (punto 88 al punto 204)			
Longitud	Diámetro	Cédula	
340.00 m	150 mm	SDR-32.5	
1 988.00 m	100 mm	SDR-32.5	
404.00 m	75 mm	SDR-32.5	
871.00 m	63 mm	SDR-32.5	
599.00 m	50 mm	SDR-32.5	
626.00 m	38 mm	SDR-32.5	
1 420.00 m	25 mm	SDR-26	
			Longitud
6 248.00 m			
			Longitud Total de la Red
22 597.15 m			

Funcionamiento Futuro de la Red

Generalidades

Los criterios usados para la proyección de los habitantes, junto con la demanda del servicio se exponen en los Capítulos I y II respectivamente. Seguidamente se dan algunos criterios hidráulicos y de comportamiento de la demanda, los cuales se basan, en general, en trabajos y recomendaciones del AyA.

Factores de variación del consumo

Estas variaciones son importantes en el diseño, ya que la capacidad de producción debe abastecer los caudales máximos diarios, mientras que las redes de distribución, los máximos horarios.

Factor de variación del consumo diario con respecto al consumo promedio anual

En los acueductos, los patrones de consumo de agua varían en el tiempo, tanto en el promedio diario como en el consumo horario, por lo que deben calcularse estas oscilaciones para poder precisar los flujos que deberán estimarse para el diseño o diagnóstico de los sistemas y cubrir las demandas de la población.

Estas variaciones son más marcadas cuanto más pequeña sea la población por abastecer, y van decreciendo conforme la población tiende a ser más grande. La situación ideal sería conocer los diferentes patrones de consumo en cada sitio; sin embargo, en la mayoría de los casos es difícil contar con la información base para determinar tales diferencias.

La demanda máxima diaria corresponde a la demanda del día del año de mayor demanda promedio, y se expresa como un porcentaje de la

demanda promedio anual. Este porcentaje se denomina *Factor de demanda diaria*.

La Referencia 3 establece diferentes valores para el factor máximo diario de acuerdo con el número de habitantes por servir: 1,3 para poblaciones menores a 10.000 habitantes; 1,2 para poblaciones entre 10.000 y 100.000 habitantes, y 1,1 para poblaciones mayores a 100.000 habitantes. Por su parte, según información manejada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados para los principales acueductos que opera, en la mayoría de los casos este valor es inferior a 1,20; sin embargo, la misma institución utilizó un valor de 1,25 en el diseño original (1987) del acueducto de Puerto Viejo.

Siendo congruentes con la información anterior, se asumirá un valor de 1,25 como factor máximo diario.

Factor de variación horaria del consumo

De acuerdo con información obtenida en varios lugares del país, para poblaciones mayores a 10.000 habitantes, los valores del factor máximo horario varían entre 1,28 y 1,82, donde 1,52 es el promedio y se excluyen los extremos.

Por otro lado, de acuerdo con experiencias de administración por parte del AyA, se recomienda usar valores entre 1,70 y 2,00. Considerando que la zona presenta un comportamiento difícil de pronosticar debido a los malos hábitos de consumo de los habitantes, se considera 2,00 como factor máximo horario.

Caudal de incendio

La red de distribución deberá estar en capacidad de transportar, además de la demanda máxima horaria normal, un caudal adicional para combatir eventuales incendios, asegurando que en tal situación la presión del sistema no sufra reducciones inaceptables.

De acuerdo con las normas del AyA, la red de distribución deberá ser capaz de abastecer los caudales que se indican en el cuadro 3.1 en cualquier nodo sencillo, o la mitad de estos en dos nodos adyacentes, en lugar de la demanda normal de esos nodos, sin causar reducciones inaceptables en el sistema a la hora

de máxima demanda.

Cuadro 17
Caudales de incendio

Población (habitantes)	Hidrantes operando simultáneamente	Caudal de Incendio (L /s)
5 000 a 15 000	1	8
15 000 a 30 000	2	16
30 000 a 60 000	3	24
60 000 a 120 000	5	40
120 000 a 200 000	6	48
20 0000 a 300 000	8	64

Sin embargo, asumir este criterio de diseño generaría valores de caudal bastante altos como para una localidad como la de Puerto Viejo de Sarapiquí, por lo que dicha demanda no se tomará en cuenta para el presente análisis.

Presiones en el sistema

Las presiones máximas en las líneas de conducción estarán determinadas por las presiones de trabajo de las tuberías.

Con respecto a las presiones en la red de distribución, la presión mínima será de 15 m.c.a. a la hora de máxima demanda, aunque se pueden aceptar 10 m.c.a. en las acometidas domiciliarias. La presión en el sistema normalmente no deberá exceder 60 m.c.a. en relación con el nivel superior del tanque en la condición de presión estática. Sin embargo se aceptan hasta 90 m.c.a. en terrenos muy inclinados o para aprovechar la infraestructura existente.

Si se rebasan los valores máximos de presión recomendados, es típico que exista mayor probabilidad de fugas, mayor desgaste de los accesorios, desperdicio de agua en zonas bajas, y en casos extremos podría romperse la tubería.

Por otro lado, si las presiones fueran más bien bajas, el agua no llegaría en horas pico, se formarían bolsas de aire que impedirían el paso del agua y el sistema sería totalmente deficiente.

Velocidades en las tuberías principales

La velocidad máxima no deberá exceder los 3 metros por segundo, a fin de prever daños en las tuberías y válvulas por sobre presión.

Volumen de almacenamiento

El tanque de almacenamiento debe tener la capacidad suficiente para almacenar agua con los propósitos de: a) compensar las fluctuaciones horarias del consumo, b) combatir incendios, y c) suplir agua en caso de interrupciones del abastecimiento matriz.

El *volumen de regulación del consumo* es el requerido para compensar las fluctuaciones horarias del consumo. En aquellos casos donde existe información sobre la curva masa del sistema (valores acumulados de la variación horaria de la demanda y el suministro), se determina el volumen de regulación a partir de esta. En los casos donde no existe dicha información, el volumen de regulación se estima como un 14% del volumen promedio diario, cuando el flujo que alimenta los tanques es constante. Tal porcentaje del 14% se ha determinado con base en macromediciones en varias localidades del país.

El *volumen de reserva para incendios* corresponde a la cantidad de agua necesaria para suministrar los flujos requeridos para controlar incendios durante el tiempo que estos tarden en ser combatidos. La duración de cada incendio se indica en el cuadro 18, donde se calcula el volumen de almacenamiento necesario.

Cuadro 18
Volumen de reserva para incendio

Población (miles hab)	Caudal de Incendio (L/s)	Duración del incendio (hrs)	Volumen (m³)
5 a 15	8	3	90
15 a 30	16	3	170
30 a 60	24	3	260
60 a 120	40	4	580
120 a 200	48	4	690
200 a 300	64	4	920

El *volumen de reserva para emergencias* se toma en cuenta debido a la probabilidad de daños en las fuentes o tuberías de conducción; dicho volumen debe ser suficiente para almacenar el caudal promedio durante un período no menor de 4 horas.

El volumen total de almacenamiento será el que resulte de la suma de los tres volúmenes anteriores. En el Cuadro 19 se presenta el resultado de aplicar los criterios arriba enunciados para el caso del acueducto de Puerto Viejo; el caudal o demanda promedio total se obtuvo de los resultados obtenidos en el Capítulo III, Cuadro 3.

Cuadro 19
**Volumen de almacenamiento requerido para el
Acueducto de Puerto Viejo de Sarapiquí**

Año	QPD (L/s)	Volumen de regulación (m³)	Volumen de incendios (m³)	Volumen de emergencias (m³)	Volumen requerido (m³)
2005	11,41	138,02	90,00	164,30	392,32
2010	16,27	196,80	90,00	234,29	521,09
2015	23,19	280,51	90,00	333,94	704,44
2020	33,07	400,01	90,00	476,21	966,22
2025	47,16	570,45	90,00	679,10	1 339,55

Análisis de los resultados

Análisis con respecto a la estimación de la población

Para la comunidad de Puerto Viejo de Sarapiquí, puede decirse que el área de expansión únicamente se ve limitada en uno de sus costados, por el Río Sarapiquí, de modo que la población no necesariamente debe crecer como una curva "S", pues en todo caso, el valor de saturación es muy lejano.

Tomando en cuenta que existe gran área para el desarrollo y crecimiento urbano, métodos como el del crecimiento declinante o el logístico no se utilizaron en el presente proyecto por ser técnicas que corresponden a crecimientos de población para comunidades con áreas de tierra limitadas y expansión restringida.

Al observar los factores de crecimiento indicados en el *Cuadro 1*, se puede concluir que entre 1973 y el 2000, el distrito de Puerto Viejo se ha desarrollado en forma más acelerada que todo el cantón de Sarapiquí, la provincia de Heredia y el país en general, lo cual se evidencia en los dos últimos censos, donde se registra una diferencia de un 170% más en relación con el factor de crecimiento del cantón de Sarapiquí.

Analizando la información del *Gráfico 2*, se puede observar que las curvas correspondientes a los métodos de comparación gráfica y lineal presentan valores muy bajos en relación con las demás proyecciones. Estos dos métodos no son tomados en cuenta para el cálculo de la población de diseño, ya que al promediar los valores de los diferentes métodos obtendríamos un valor muy poco confiable. Además, el método de proyección lineal es completamente teórico y rara vez se da el caso de que una población presente este tipo de crecimiento; en nuestro caso en particular, se puede verificar esta situación al observar que los

factores de crecimiento para el distrito de Puerto Viejo varían bastante entre cada censo de población, por lo que el método lineal no se aplica del todo para nuestro fin.

Basados en que los datos resultantes de la utilización de los métodos geométrico y logarítmico arrojaron una curva característica que obedece a la del crecimiento histórico de Puerto Viejo de Sarapiquí, y que a la vez es similar a la curva de proyección del INEC, se utilizó como población de diseño la obtenida a partir de la utilización del método logarítmico, ya que el crecimiento característico de la población de Puerto Viejo es de tipo exponencial.

Dichos valores de población concuerdan con las proyecciones de población realizadas en el año 1985 por el Departamento de Estudios Básicos del AyA para la misma zona en estudio, donde se proyectó, para el año 2005, un total de 3 272. El último censo realizado en el país es el del año 2000, por lo que se contó con un dato bastante actualizado; por otro lado, el nivel de confiabilidad de este censo es, en definitiva, bastante alto, en vista de las modernas técnicas utilizadas para su elaboración.

Análisis con respecto a la estimación del consumo y la demanda

En comparación con otros acueductos del país, cabe resaltar que para los datos de consumo neto domiciliario que se mostraron, el mayor corresponde a Cartago, con un valor de 267 L/hab/día; Puerto Viejo de Sarapiquí ocupa el quinto puesto, con 214 L/hab/día, que representan respectivamente un 148% y un 118% del consumo neto domiciliario per cápita que tienen los usuarios de AyA en el Acueducto Metropolitano de San José (AMSJ), los cuales

muestran el valor más bajo del registro, con 181 L/hab/día.

Como se mencionó en apartados anteriores, los motivos que provocan que el consumo neto domiciliario por persona se incremente en un acueducto básicamente son: las bajas tarifas, bajos niveles de micromedición efectiva y deficiente gestión operacional y comercial. En algunos acueductos se presentan todas estas situaciones simultáneamente, y en otros se presentan solo algunas de ellas; sin embargo, los efectos que sobre el consumo neto (domiciliario y no domiciliario) tienen estas causas varían dependiendo de la situación general del sistema.

En el caso del Acueducto de Puerto Viejo, aún cuando se presenta un nivel de micromedición aceptable (83,6%), las tarifas que se aplican a los consumos son muy bajas. La Administración del acueducto cobra actualmente una tarifa de ¢62 por metro cúbico de agua, y adicionalmente, un monto fijo de ¢1120 por mes; estos precios son bajos si se toma en cuenta que para otros acueductos rurales del país la tarifa varía de acuerdo con el rango de volúmenes de agua que se consume (el costo/m³ aumenta a medida que el consumo sea mayor).

Análisis con respecto a la capacidad de almacenamiento

El almacenamiento actual del acueducto de Puerto Viejo asciende a los 450 m³: un tanque en uso de 150 m³ y otro tanque sin utilizar con una capacidad de 300 m³. Por comparación, entre este volumen existente de 450 m³ y los volúmenes requeridos entre los años 2005 y 2025 mostrados en el Cuadro 19, se tiene que:

- I. En la actualidad, el volumen de almacenaje en funcionamiento (150 m³) no cumple con los requerimientos totales actuales, pues cubre solo las necesidades por regulación; sin embargo, la estructura con el volumen requerido para cubrir las necesidades adicionales de incendio y emergencias está construido, aunque no está habilitado. Al ponerse en funcionamiento el tanque adicional de 300 m³ se alcanzaría satisfactoriamente el volumen requerido para el 2005.

- II. A partir del año 2010, el volumen de almacenamiento estaría por debajo de la capacidad requerida, habría un faltante de 71 m³. Para el año 2015 se cubrirían solo las necesidades de regulación diaria e incendio y 0,95 horas de retención para emergencias.
- III. En el año 2025 ya no se podría cumplir ni siquiera con los requerimientos para regulación diaria, y no existiría almacenamiento para posibles incendios y solventar situaciones de emergencia.

Balance Producción - Demanda

Según los aforos realizados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, la capacidad de producción de la naciente es de 12 litros por segundo. Por otro lado, la demanda o caudal máximo diario de la comunidad de Puerto Viejo de Sarapiquí para el período 2005 – 2025 varía entre 14,26 l/s y 58,95 l/s respectivamente.

A continuación se analizan los escenarios de las comunidades de mayor importancia abastecidas por el acueducto de Puerto Viejo de Sarapiquí.

Modelación y escenarios de la población de La Guaria

Escenario actual de la población (año 2005)

Analizando la población de *La Guaria* se observa que el caudal que transporta la tubería de conducción al sistema de bombeo es suficiente para garantizar el suministro de agua potable las 24 horas del día. Gracias a la modelación de consumo permitida por el software *InfoWorks*, se constató que el tanque cisterna, que cuenta con una capacidad de 50 m³ y es alimentado por un caudal de 5.874 l/s que proviene desde la naciente, es suficiente para alimentar el sistema de bombeo que impulsa el agua hacia el tanque de almacenamiento de 150 m³ de capacidad, el cual se encarga de la distribución al poblado.

Utilizando la curva de demanda horaria cuyo factor máximo de consumo se presenta a las 8:00 am (con un valor de 2,00), se puede constatar que el tanque debe de estar siempre con un nivel agua, dado que la demanda domiciliaria y no domiciliaria no supera, en ninguno de los casos el volumen de almacenamiento del reservorio. Por esta razón, se verificó mediante un análisis de consumo-horario, la variación de los niveles de agua almacenada en el tanque y nunca se percibió que el tanque quedara sin almacenamiento, por el contrario se observó que en horas pico de consumo el tanque reducía su volumen pero que cuando se disminuía la demanda éste, recuperaba niveles óptimos de funcionamiento.

Las presiones nodales con el consumo y/o demanda obtenida en mediciones de campo constatan que debe estarse dando una buena presión de servicio en cada domicilio, como se puede observar que la carga de columna de agua para cada nodo ronda los 53m en promedio.

Se puede calcular que las presiones presentadas en cada nodo no supera la cédula de la tubería (SDR-41), por lo que el sistema debe trabajar sin ningún problema de fatiga por exceso de presión.

Escenario de la población (año 2015)

De acuerdo a la distribución de caudales hecha por el software se puede observar que el caudal requerido por *La Guaría* será de 10.560 l/s, por lo que la Junta Administradora del Acueducto para este año deberá contar con alguna fuente extra que supla la demanda adicional, ya que con la producción del acuífero (12 l/s) no podrá dotarse de agua a las dos comunidades en el año 2015.

Sin embargo, si se utiliza todo el caudal disponible para esta sola comunidad, se puede asegurar que las presiones en el sistema serán las adecuadas y rondarán los 53 metros columna de agua. Un adecuado uso de los dos tanques de almacenamiento de 150 m³ y 300 m³ garantizaría un suministro de agua para toda la comunidad de La Guaría, ya que el sistema de bombeo existente puede llenar los dos tanques sin problema. Claro está que estos parámetros dependen de la producción de la naciente, por esto debe haber políticas claras de conservación y mantenimiento del acuífero.

Para éste año se deben realizar mejoras en la línea de conducción que comunica los tanques de almacenamiento con los ramales, por lo que es necesario un rediseño de este tramo ya que la distribución podrá trabajar sin ningún inconveniente.

Escenario de la población (año 2025)

Para esta fecha el caudal producido por la naciente no daría cobertura a toda la población, por ésta razón ya se debería de contar desde antes del 2015 con una fuente de abastecimiento pues la demanda de toda la comunidad rondaría los 20,824 l/s.

Modelación y Escenarios de la población de Puerto Viejo

Escenario de la población (año 2005)

En este momento el caudal que demanda esta comunidad puede ser suministrado por la naciente, sin embargo se presentan problemas de servicio en ciertos nodos, dado que su elevación está por encima de la presión con que sirve la tubería de conducción. Los problemas de presión no deberían suceder si se contara con tanques de almacenamiento, dado que en la actualidad el agua que proviene de la naciente pasa de forma directa a la comunidad por lo que la energía que posee, en algunos casos, no es suficiente para prestar la presión de servicio requerida. Se debe comenzar un rediseño total de las líneas de distribución, porque las actuales no soportaran la demanda futura.

Escenario de la población (año 2015)

La red actual colapsa ya que los diámetros no podrán soportar la demanda para ese momento que sería de 12.015 l/s. El rediseño debe contemplar la expansión demográfica y áreas aptas para el crecimiento del centro de la población, ya que un aumento en la densidad de población en un mismo lugar no es lo óptimo para el sistema actual.

Análisis con respecto a la operación y mantenimiento del acueducto

La mejoría en la distribución del agua requerida para satisfacer las necesidades de la población de Puerto Viejo de Sarapiquí durante el período de diseño, dependerá de la eficiencia en la administración del acueducto y de las políticas de racionamiento y control que se lleven a cabo.

A pesar de que se cuenta con un nivel de micromedición aceptable, no se cuenta con dispositivos de macromedición que permitan determinar la cantidad de agua que ingresa en un determinado punto estratégico de la red. Así por ejemplo, el tanque cisterna no posee ningún tipo de equipo de medición del caudal que realmente ingresa al sistema, situación que imposibilita verificar conexiones ilícitas en la tubería de conducción (problemática que puede estar dando en el acueducto debido a la extensión de la línea de conducción y a la gran cantidad de fincas que atraviesa la tubería).

Como referencia a utilizar para implementar un adecuado plan de operación y mantenimiento del acueducto, existe un Manual de Operación elaborado por la Dirección de Acueductos Rurales del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. En dicho documento, el comité administrador del acueducto encontrará los requisitos mínimos que debe llevar a cabo para garantizar un eficiente servicio a los usuarios, así como para prolongar la vida útil del acueducto y disminuir los costos de las reparaciones.

En este sentido, es deber de la Asociación Administradora del Acueducto llevar a cabo las labores de educación en la comunidad, la operación, mantenimiento y administración de la red de abastecimiento y contratar los servicios del personal necesario para estos fines; además debe vigilar y proteger sus fuentes de abastecimiento, para que se cumplan los objetivos que inspiraron la construcción del servicio de acueducto rural.

El Manual descrito anteriormente, presenta en forma clara y concisa para cualquier operador, los conocimientos necesarios para familiarizarse con un sistema de abastecimiento de agua potable, y las herramientas básicas que le permitan definir e identificar posible problemas

en el funcionamiento de la red.



Foto 8 Aspectos de vulnerabilidad de la tubería de conducción y tramos colgantes, daños causados por inundaciones frecuentes en el río Puerto Viejo.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- La población actual cubierta por el Acueducto de Puerto Viejo de Sarapiquí se estima en 3 692 habitantes. Para el período 2005-2025, de darse las condiciones propias para el crecimiento socioeconómico de la zona, se prevé un crecimiento poblacional mayor al que se ha venido dando en la última década, el cual alcanzará los 15 260 habitantes.
- La distribución de agua requerida para satisfacer las necesidades de esta población durante dicho período dependerá, en gran parte, de la eficiencia en la administración del acueducto. De mantenerse las mismas características de operación y mantenimiento del acueducto, la demanda podría variar entre los 14,26 y 58,95 L/s entre los años 2005 y 2025 respectivamente.
- La producción de la fuente actual, según el registro de aforos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, se estima en unos 12 L/s; de ahí que actualmente existan problemas de abastecimiento en ciertos sectores de la comunidad servida. Por lo tanto, se requiere explorar a mediano plazo (5 años) otras fuentes de agua potable que permitan suplir las necesidades de la población futura.
- En forma similar a la demanda, de mantenerse las mismas condiciones de operación del acueducto, los requerimientos para los tanques de almacenamiento para el período 2005–2025 serían de 392 y 1340 m³ respectivamente, los cuales superan en mucho la capacidad actual de 450 m³. La situación se hace más crítica si tomamos en consideración que actualmente el sistema tiene problemas para llenar el único tanque de almacenamiento en uso, de 150m³, para abastecer de agua potable a la comunidad de La Guaria.
- El acueducto en estudio está conformado por dos sectores de importancia: el sector de Puerto Viejo Centro y el sector de La Guaria; cada sector es abastecido por una línea de conducción independiente (tuberías paralelas) que provienen de la naciente. Para el sector de Puerto Viejo Centro, el agua potable es distribuida en la comunidad aprovechando únicamente la energía obtenida mediante las diferencias de nivel entre la naciente y la comunidad. Por otro lado, la localidad de La Guaria utiliza un sistema de bombeo que impulsa el agua hasta un tanque de almacenamiento, desde donde se distribuye el caudal por gravedad en dicha comunidad.
- El sector de Puerto Viejo no cuenta con obras de almacenamiento que permitan compensar las variaciones de consumo durante días y horas de máxima demanda, situación que genera presiones bajas de servicio en la comunidad.
- Con respecto al sector de La Guaria, los problemas de abastecimiento parecieran obedecer más bien a conexiones ilícitas típicas de una línea de conducción tan extensa a través de fincas y terrenos dedicados principalmente a la agricultura y ganadería. Esta situación provoca que el caudal disponible para abastecer a la comunidad se reduzca considerablemente,

limitando las necesidades de consumo de la población.

- Finalmente, se puede asegurar que el acueducto es bastante vulnerable a las inundaciones, puesto que el distrito de Puerto Viejo de Sarapiquí posee una red fluvial bien definida que cuenta con un conjunto de ríos y quebradas que pueden considerarse como el punto focal de las amenazas hidrometeo
- rológicas de la zona. Las líneas de conducción han sido instaladas siguiendo el cauce de dichos cuerpos de agua, por lo que constantemente sufren daños de importancia por la crecida de los ríos, dejando fuera de servicio la red de abastecimiento.

Recomendaciones

Tomando en cuenta las conclusiones descritas anteriormente, es evidente que la Asociación Administradora del Acueducto de Puerto Viejo debe, centrar sus esfuerzos inmediatos en la búsqueda de otras fuentes de producción y en lograr una mejora sustancial en términos de la efectividad en la administración, la operación y el mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua potable.

Para esto debe contemplarse un rediseño del acueducto en función de la demanda futura, basado en los planes de desarrollo urbano previstos para el distrito de Puerto Viejo, donde se establezcan claramente los sectores de población que no pueden crecer y las zonas aptas para el desarrollo urbano, comercial e industrial de la zona.

Debido a que a corto plazo ciertos tramos de la tubería entrarían en crisis es necesario de primera mano atender el tramo de tubería que sale desde los tanques de almacenamiento hacia *La Guaría*, y de ahí a red de distribución; aumentando sus diámetros para que puedan en algún momento conducir y distribuir 12 l/s, que a corto plazo demandará esa zona. Sabiendo de ante mano los problemas presentes en las líneas de conducción (vulnerabilidad por inundaciones, conexiones ilícitas y fugas) es necesario implementar la macromedición y saber con exactitud cuanto caudal transportan dichas

tuberías, para que de ésta manera el sistema de bombeo pueda trabajar de una forma efectiva y mantener los tanques de almacenamiento con los niveles necesarios para enfrentar la demanda solicitada por la comunidad.

Puesto que la producción de la naciente es limitada en relación con la demanda presente y futura de la población, debe plantearse la posibilidad de que la población de Puerto Viejo sea abastecida también mediante un sistema de bombeo – almacenamiento y descarga por gravedad, con el propósito de cumplir con las presiones mínimas recomendadas. Adicionalmente, en los próximos años debería considerarse utilizar la actual naciente para suplir a sólo uno de los sectores (Puerto Viejo o La Guaría), siempre y cuando exista una fuente de producción que cubra las necesidades del otro sector.

Sin embargo, antes debe implementarse un programa de macromedición que permita a la Administración del Acueducto detectar posibles conexiones ilícitas o fugas en la línea de conducción. Para esto deben instalarse medidores de flujo en puntos estratégicos (o bien, adquirir medidores ultrasónicos) que se ubiquen antes del inicio de las líneas de distribución de las comunidades, con el propósito de comparar el caudal que ingresa al sistema con la sumatoria de las mediciones mensuales que la Administración del acueducto registra para efectos de cobro del servicio de agua potable. Además, la instalación de horímetros para la medición de los caudales suministrados en los sistemas de bombeo existentes y por instalar, serán de gran ayuda para el control de los volúmenes de agua que se suministran diariamente.

Como se ha venido comentando en el desarrollo del presente documento, las tarifas vigentes influyen en forma directa en los hábitos de consumo de la población; por lo tanto, el aumento de la tarifa reduciría el consumo de agua permitiendo mayores presiones en zonas críticas del sistema. Puesto que la Asociación Administradora del acueducto actualmente cuenta con una única tarifa básica (independientemente del tipo de servicio: doméstico, comercial e industrial), debería plantearse una propuesta de tarifas diversificadas, incluyendo no sólo diferentes montos de acuerdo con el tipo de servicio, sino también estableciendo un sistema de cobro de

acuerdo con la cantidad de agua que se consuma (por ejemplo: un consumo de 1 a 25 m³/mes no debería ser el mismo que para un rango entre los 25 y 40 m³/mes), alternativa que es aplicada en otros acueductos del país.

Con respecto a la vulnerabilidad del acueducto ante amenazas naturales, principalmente inundaciones, las mejoras deberían centrarse en los tramos de las líneas de conducción que atraviesan el Río Guácimo, cuerpo hídrico que constantemente genera problemas serios en la tubería. Deben implementarse sistemas de anclaje adecuados, ya que actualmente solo existen camas de concreto pobre como sistemas de anclaje de la tubería, ineficientes en el sentido de que la restricción al movimiento es poca bajo condiciones críticas durante las crecidas del río.

Como punto fundamental la Asociación Administradora del Acueducto deberá promover el rediseño e implementación de cambios en la red de distribución actual ya que por las características y condiciones bajo las que fuera diseñada, no soportará el caudal que demandará la población a corto plazo, por lo que se deberá cambiar diámetros, construcción de estaciones de bombeo, sistemas de almacenamiento, etc., lo anterior para garantizar servicio a toda la comunidad.

También es de suma importancia mencionar que con el aumento de la demanda se dará una crecida en la cantidad de agua residual que debe ser tratada, por lo que es necesario que la comunidad piense y sea pionera, al ser una de las primeras poblaciones rurales en dar tratamiento de aguas servidas, mediante sistemas de purificación, lo que le garantizaría no contaminar las fuentes de agua subterráneas y pozos que abastecen a habitantes de la misma comunidad, generando de esta forma salud a sus habitantes.

Finalmente, se recomienda capacitar al personal que brinda las labores de operación y mantenimiento del acueducto, de manera que se optimice el funcionamiento de la red. Como referencia por utilizar en la implementación de un adecuado plan de operación y mantenimiento del acueducto, existe un Manual de Operación elaborado por la Dirección de Acueductos Rurales del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. En dicho documento, el comité administrador del acueducto encontrará los requisitos mínimos que debe llevar a cabo para

garantizar un eficiente servicio a los usuarios, así como para prolongar la vida útil del acueducto y disminuir los costos de las reparaciones. El Manual descrito anteriormente presenta, en forma clara y concisa para cualquier operador, los conocimientos necesarios para familiarizarse con un sistema de abastecimiento de agua potable, y las herramientas básicas que le permitan definir e identificar posibles problemas en el funcionamiento de la red.

Apéndices

Estimación de la Población

1. Crecimiento poblacional entre 1973 y 2000.
2. Datos de población Método de Comparación Gráfica.
3. Poblaciones de Comunidades de características similares.
4. Hoja de cálculo para estimación de población de diseño.
5. Proyección de Población para el cantón de Puerto Viejo.
6. Densificación por sectores.
7. Comparación de población por medio de los diferentes métodos de proyección.
8. Proyecciones de consumo nodal
9. Población nodal.

Análisis con respecto a la estimación del consumo

10. Resultados arrojados por el Software *Infoworks*.
11. Curva de variación de consumo horario.
12. Simbología

Anexos

1. Acueductos y Alcantarillados. Programa de Ayuda Comunal. “Mantenimiento de Acueductos Rurales”.
2. Sectorización y zonas de posible densificación INEC.
3. Hoja Cartográfica Río Cuarto (IGN).
4. Planos de Construcción para la ampliación del acueducto de Puerto Viejo de Sarapiquí 1997, elaborados por AyA.
5. Informe CONCESA.
6. Registro de aforos de la naciente por parte de AyA.
7. Resumen de consumos mensuales del acueducto de Puerto Viejo de Sarapiquí (Enero 2004 - Enero 2005).

Bibliografía

- Denyer Percy y Kussmaul Siegfried 1994. **Atlas Geológico Gran Área Metropolitana**. Costa Rica: Editorial Tecnológica.
- Terence J. McGhee 1999. **Abastecimiento de Agua y Alcantarillado**. Colombia, Sexta Edición. Editorial Mc Graw Hill.
- Sauter, Franz, 1989. **Introducción a la Sismología**. Costa Rica, Primera Edición. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- López Cualla, Ricardo A., 1999. **Diseño de Acueductos y Alcantarillados**. Colombia, Segunda Edición. Editorial Alfaomega.
- Saldarriaga V., Juan G., 2000. **Hidráulica de Tuberías**. Colombia, Primera Edición. Editorial Mc Graw Hill.
- Acuña, R. et al. 2002. **Código Sísmico de Costa Rica**. Costa Rica, Primera Edición. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Chanto J., Luis F. et al. 1995. **Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones**. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 2001. **Mantenimiento Preventivo y Correctivo de los Acueductos Rurales**. Aprendizaje para el Desarrollo Humano.
- Rojas Castro, Rolando. 2001. **Criterios de Diseño y sus Efectos en la Operación de Acueductos Rurales**. **Manual Técnico para el Maestro de Obras de Acueductos Rurales**. Pags. 63-81.
- Durman Esquivel, 2003. Lista de Precios y Especificaciones Técnicas de Productos de PVC.
- Yee Orozco A. et al. 1985. **Análisis y Diagnóstico del Abastecimiento del Agua en la Zona Rural de Costa Rica**. Tesis de graduación. Universidad de Costa Rica. San José.
- Monge Zúñiga, Walter. 1984. **Evaluación del Acueducto Propuesto por AyA para dotar de Agua Potable a la Ciudad de Buenos Aires**. Proyecto Final. Universidad de Costa Rica. San José.
- Amador Quesada, Guillermo. 1985. **Evaluación del Funcionamiento y Análisis de la capacidad del Acueducto de Guápiles Guácimo**. Proyecto Final. Universidad de Costa Rica. San José.
- Sauma Solano, Laura. 1991. **Evaluación Preliminar del Acueducto de San Isidro de Heredia**. Proyecto Final. Universidad de Costa Rica. San José.
- Mayorga Nuñez, Anabelle. 1984. **Evaluación del Funcionamiento y de la Capacidad de la red de distribución de agua potable de San Ramón**. Proyecto Final. Universidad de Costa Rica. San José.
- Rosales Elías, Consultas sobre Diseño de Acueductos. Profesor guía de Trabajo de Graduación. Cartago. Instituto

Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Julio 1987. *Acueducto para Puerto Viejo de Sarapiquí.*

Rodríguez Jorge E., Mayo 1987. *Observaciones Preliminares sobre el Impacto Ambiental del Acueducto a Puerto Viejo de Sarapiquí.* Ministerio de Agricultura y Ganadería, Servicio de Parques Nacionales

Salom Rodríguez, Zuleyka. et al. 1980. *Plan de Ordenamiento Urbano La Virgen de Sarapiquí. Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo.*

Salom Rodríguez, Zuleyka. et al. 1977. *Plan de Ordenamiento Urbano Puerto Viejo de Sarapiquí. Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo.*

Tablas y Gráficos diseñados en MS Excel y MS Office.