

MAVDT
0053



GUÍA RAS - 001

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable
y Saneamiento Básico

Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua



Libertad y Orden
Ministerio de Ambiente,
Vivienda y Desarrollo Territorial
República de Colombia

TANQUE DE ALMACENAMIENTO

PLANTA DE TRATAMIENTO

**Este documento es propiedad del
MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE
Centro de Documentación**

GUÍA RAS - 001

**Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable
y Saneamiento Básico**

Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua

ISBN: 958-8137-16-0

Cubierta: Planta de tratamiento, fotografía Hidrotec.

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

CECILIA RODRÍGUEZ GONZÁLEZ-RUBIO
MINISTRA DE AMBIENTE, VIVIENDA
Y DESARROLLO TERRITORIAL

JUAN PABLO BONILLA ARBOLEDA
VICEMINISTRO DE AMBIENTE

AUGUSTO OSORNO GIL
DIRECTOR DE AGUA POTABLE, SANEAMIENTO BÁSICO Y AMBIENTAL

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA-CIFI

GONZALO TORRES
DIRECTOR CIFI

JUAN SALDARRIAGA
PROFESOR TITULAR

MARIO DÍAZGRANADOS
PROFESOR ASOCIADO 1

GERMÁN R. TORRES M.
CONSULTOR
AUTOR DEL DISEÑO DE LA GUÍA

GRUPO TÉCNICO INTERVENTOR
DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO

MAURICIO A. RIVERA SALCEDO
ARMANDO VARGAS LIÉVANO
MARÍA ELENA CRUZ LATORRE

COORDINACIÓN
MARÍA ISABEL GARCÍA, MARÍA YOLIMA LOZANO Q.

PREPARACIÓN EDITORIAL
MARTA ROJAS, ALEJANDRO ROJAS

IMPRESIÓN
PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S. A.
BOGOTÁ, OCTUBRE DE 2003, 1ª REIMPRESIÓN

TABLA DE CONTENIDO

PREFACIO	9
INTRODUCCIÓN	11
Capítulo 1	
DEFINICIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	13
1.1 GENERALIDADES	13
1.2 CÁLCULO DE LA POBLACIÓN	13
1.2.1 Definición del período de diseño	14
1.2.2 Proyecciones de población	16
1.3 CARACTERIZACIÓN ECONÓMICA DE LA POBLACIÓN	16
1.4 ASIGNACIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	17
Capítulo 2	
ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN	19
2.1 GENERALIDADES	19
2.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE	19
2.3 MÉTODOS DE CÁLCULO PARA LAS PROYECCIONES DE POBLACIÓN	20
2.4 AJUSTES A LA POBLACIÓN PROYECTADA	26
2.4.1 Población flotante	26
2.4.2 Población migratoria	27
2.5 DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL DE LA POBLACIÓN	27
Capítulo 3	
EVALUACIÓN DE LAS DOTACIONES DE AGUA	
EN UN SISTEMA DE ACUEDUCTO	29
3.1 GENERALIDADES	29

3.2	ESTIMACIÓN DE DOTACIONES NETAS	30
3.2.1	Metodología para estimar la dotación neta	30
3.2.2	Valores máximos y mínimos para la dotación neta residencial	31
3.3	EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE AGUA EN EL SISTEMA	32
3.4	DEFINICIÓN DE DOTACIONES BRUTAS	34

Capítulo 4

CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA..... 35

4.1	GENERALIDADES	35
4.2	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA TOTAL DE AGUA	36
4.2.1	Demanda media residencial (Qmd)	36
4.2.2	Demanda media de otros usos (Qou)	36
4.3	DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL DE LA DEMANDA	37
4.4	VARIACIONES DE LA DEMANDA DE AGUA.....	37
4.4.1	Demanda máxima diaria (QMD)	37
4.4.2	Demanda máxima horaria (QMH)	39

Capítulo 5

EJEMPLO DE APLICACIÓN 41

5.1	INFORMACIÓN BÁSICA	41
5.2	PROYECCIONES DE POBLACIÓN Y DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL	46
5.2.1	Método aritmético	46
5.2.2	Método geométrico	48
5.2.3	Método exponencial.....	49
5.2.4	Método de Wappaus	49
5.2.5	Método gráfico	50
5.2.6	Definición de la población definitiva	52
5.2.7	Ajustes a la población proyectada	54
5.2.8	Distribución espacial de la población	54
5.3	DEFINICIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD	58
5.3.1	Nivel de complejidad según la población	58
5.3.2	Nivel de complejidad según la capacidad económica de los usuarios	59
5.3.3	Asignación del nivel de complejidad del sistema	59
5.4	EVALUACIÓN DE LAS DOTACIONES DE AGUA	59
5.4.1	Dotaciones netas	59
5.4.2	Evaluación de pérdidas en el sistema	61
5.4.3	Dotaciones brutas actuales	62
5.4.4	Dotaciones brutas futuras	63
5.5	CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA	64
5.5.1	Demanda de agua actual	64

5.5.2 Proyección de la demanda de agua	64
5.5.3 Distribución espacial de la demanda futura	68
5.5.4 Variaciones de la demanda	68

BIBLIOGRAFÍA	71
---------------------------	-----------

PREFACIO

El objetivo de estas guías es facilitar el uso y la aplicación del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS en sus diferentes títulos. Se espera que con estas nuevas herramientas se mejore la capacidad técnica y de planeación de las distintas entidades encargadas del desarrollo del sector.

La idea de la elaboración de las guías surge de la necesidad de tener documentos que ayuden a poner en práctica lo establecido en el reglamento mencionado con el fin de mejorar los procesos de planeación, diseño, construcción, operación, mantenimiento, evaluación y monitoreo de los distintos proyectos desarrollados para cubrir las necesidades de agua potable y de saneamiento básico en los municipios colombianos.

Las guías están dirigidas a las autoridades de planeación municipal, las entidades de regulación y vigilancia, los consultores, los diseñadores, los constructores y los operadores de los diferentes sistemas involucrados. Sin embargo, se hace especial énfasis en los municipios pequeños de Colombia los cuales, usualmente, cuentan con menos recursos técnicos y económicos para el desarrollo de proyectos de infraestructura.

El desarrollo de cada una de las guías se basa en la aplicación de los conceptos expresados en el reglamento a casos específicos de municipios colombianos. A pesar de esto, en ninguno de los casos el contenido de las guías corresponde a diseños o recomendaciones definitivas para los municipios utilizados en los ejemplos.

Las guías se dividen en capítulos y subcapítulos, y todas las referencias directas al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), ya sea de su texto, esquemas, tablas o gráficos de uso general se presentan en letra itálica, con el fin de facilitar su reconocimiento.

INTRODUCCIÓN

La Guía RAS-001 tiene como propósito facilitar el uso del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), en lo que respecta a la determinación del nivel de complejidad de un sistema y a las proyecciones de población y demanda de agua. Para la realización de esta Guía se han desarrollado metodologías asociadas a los temas mencionados, las cuales se han complementado con un ejemplo práctico que muestra su aplicación en el municipio de San Vicente (Antioquia). Es importante, sin embargo, aclarar que los casos presentados como ejemplo son hipotéticos, pues aunque utilizan la mejor información que sobre ellos se ha obtenido, no pueden ser tomados como ejercicios definitivos aun para el caso de los municipios utilizados en esta Guía.

La Guía se encuentra dividida en cinco capítulos que corresponden a los elementos básicos necesarios para iniciar el diagnóstico y evaluación de un sistema de agua potable y saneamiento básico. El primero de ellos incluye el procedimiento para determinar el nivel de complejidad de un sistema a partir de proyecciones de población y de algunos indicadores de la capacidad económica de los usuarios. El segundo capítulo se dedica a la descripción detallada de los diferentes métodos propuestos por el RAS para las proyecciones de la población y presenta comentarios sobre los resultados obtenidos en algunas aplicaciones prácticas. El capítulo tercero trata sobre la estimación de un parámetro fundamental para la determinación de la demanda de agua: la dotación; para llegar a este punto es necesario abordar los temas de consumo y de pérdidas de agua, los cuales son particulares y específicos de cada sistema analizado. En el capítulo cuarto se juntan los resultados de los capítulos dos y tres para obtener las proyecciones de la demanda total de agua, que es el parámetro fundamental para realizar el planeamiento futuro de un sistema de agua potable y saneamiento básico. Por último, en el capítulo quinto se presenta un problema completo de aplicación de todos los temas incluidos en la Guía.

En la Guía que se presenta a continuación se hace referencia constante al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), versión del año 2000. Por lo anterior, el presente documento debe seguirse junto con el Reglamento para lograr su adecuada interpretación. Las referencias textuales del RAS se encuentran resaltadas en letra *itálica* y la numeración de las tablas es consistente con la referencia.

Capítulo 1

DEFINICIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA

1.1 GENERALIDADES

El nivel de complejidad del sistema se define de acuerdo con lo expuesto en el numeral A.3.1. del Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS. Según este reglamento, para el territorio nacional se establecen cuatro niveles de complejidad:

- *Bajo*
- *Medio*
- *Medio alto*
- *Alto*

Para el cálculo del nivel de complejidad del sistema es necesario conocer la población de la zona urbana del municipio, proyectada al período de diseño del sistema en cuestión, y tener un estimativo de la capacidad económica de la población usuaria del servicio que presta dicho sistema. Una vez se establecen los dos parámetros anteriores la definición del nivel de complejidad se realiza tal como se observa en la tabla A.3.1 del RAS.

El nivel de complejidad de un sistema debe ser el que resulte mayor entre la clasificación obtenida por la población y aquel obtenido según la capacidad económica de los usuarios.

1.2 CÁLCULO DE LA POBLACIÓN

La estimación de la población urbana es el aspecto principal en la definición del nivel de complejidad. El RAS establece que esa población debe corresponder a la proyectada al año horizonte de diseño del sistema en análisis.

TABLA A.3.1**ASIGNACIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD**

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾
Bajo	< 2,500	Baja
Medio	2,501 a 12,500	Baja
Medio alto	12,501 a 60,000	Media
Alto	> 60,000	Alta

(1) Proyectado al período de diseño, incluida la población flotante.

(2) Incluye la capacidad económica de la población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP o cualquier otro método justificado.

1.2.1 Definición del período de diseño

A partir de lo especificado en los Títulos B y D del RAS los períodos de diseño de los diferentes elementos que conforman un sistema de agua potable y saneamiento básico se han resumido en las siguientes tablas.

TABLA 1**PERÍODOS DE DISEÑO DE COMPONENTES
DE SISTEMAS DE ACUEDUCTO**

Nivel de complejidad del sistema	COMPONENTES ACUEDUCTO				
	Captaciones superficiales	Obras de captación	Redes matrices o primarias	Redes menores o terciarias	Tanques de almacenamiento y compensación
	Aducciones y conducciones	subterráneas			
	Sistemas de bombeo	Redes secundarias			
Bajo	15 años	15 años	—	15 años	20 años
Medio	20 años	15 años	20 años	15 años	25 años
Medio alto	25 años	20 años	25 años	15 años	30 años
Alto	30 años	25 años	30 años	20 años	30 años

TABLA 2
PERÍODOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Nivel de complejidad del sistema	COMPONENTES DE ALCANTARILLADO	
	Redes de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias	Estaciones elevadores y de bombeo
Bajo	15 años	15 años
Medio	15 años	20 años
Medio alto	20 años	25 años
Alto	25 años	30 años

Para los títulos C: “Sistemas de potabilización” y E: “Tratamiento de aguas residuales”, el RAS no establece en forma explícita períodos de diseño.

En los casos de ejecución de diseños detallados de un componente dado de un sistema, el período de diseño será únicamente función del nivel de complejidad del sistema.

Para los casos de estudios de planes maestros de acueducto y alcantarillado en donde, el planeamiento y diseño conceptual debe cubrir todos los componentes de los sistemas de acueducto y alcantarillado, como práctica de buena ingeniería se recomienda que se adopten los siguientes períodos de diseño, según el nivel de complejidad:

TABLA 3
PERÍODOS DE DISEÑO PARA ESTUDIOS DE PLANES MAESTROS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

Nivel de complejidad del sistema	Planes maestros y diseños conceptuales	
	Acueducto ⁽¹⁾	Alcantarillado ⁽²⁾
Bajo	15 años	15 años
Medio	20 años	20 años
Medio alto	25 años	25 años
Alto	30 años	30 años

(1) Incluye componente de potabilización

(2) Incluye componente de tratamiento de aguas residuales

1.2.2 Proyecciones de población

La definición del nivel de complejidad exige el cálculo de la población al final del período de diseño; a su vez, el período de diseño es función del nivel de complejidad y del componente a estudiar. Por tanto, para la definición del nivel de complejidad es necesario proyectar la población para los diferentes períodos de diseño asociados con los cuatro niveles de complejidad posible; en la práctica se deben hacer proyecciones de poblaciones para períodos de 15, 20, 25 y 30 años posteriores al año en que se realiza el estudio o diseño.

La metodología detallada para la realización de las proyecciones de población se presenta en el capítulo 2: “Estimación de la población”, de esta Guía. Definida la población esperada al final de cada período de análisis es factible establecer, para dicho período, el nivel de complejidad del sistema. Es posible que un municipio tenga un nivel de complejidad variable que aumente proporcionalmente con el período de diseño; en este caso, el nivel de complejidad definitivo del sistema será definido por la segunda variable en juego que es la capacidad económica de los usuarios. Se recomienda adoptar como nivel definitivo aquel que sea el más representativo de las dos evaluaciones.

1.3 CARACTERIZACIÓN ECONÓMICA DE LA POBLACIÓN

Para la asignación del nivel de complejidad del sistema debe tenerse en cuenta (adicional a la población) la capacidad económica de los usuarios del proyecto que se va a desarrollar. La caracterización económica es importante en aquellos municipios en donde el crecimiento económico difiere notablemente del crecimiento de la población.

Para determinar esta capacidad económica se debe utilizar alguna de las metodologías permitidas por el RAS, en el Título A.3.2:

Se debe utilizar alguna de las siguientes metodologías o cualquier otro método justificado:

- *La estratificación de los municipios del DNP, teniendo en cuenta las variables de ingreso y riqueza.*
- *Salarios promedio del municipio.*
- *Ingreso personal promedio del municipio.*

El propósito de esta Guía es establecer un mecanismo por medio del cual se pueda asociar un nivel económico a una población, a partir de la mínima información disponible al respecto. Sin embargo, un municipio que presente características tales que le permitan aspirar a un nivel de complejidad superior, dado su particular desarrollo económico, puede determinar su capacidad económica en forma detallada, justificando tanto la metodología como los resultados obtenidos con el fin de modificar el nivel de complejidad encontrado a partir de su población proyectada.

Para el desarrollo de esta Guía se utiliza la información de estratificación del servicio de acueducto y se asocia a una capacidad económica de los usuarios. La información se extrae de la estratificación definida para el pago de servicios públicos o de la estratificación económica del municipio obtenida a partir de la aplicación, por parte de la autoridad municipal, de la metodología de estratificación económica del Departamento Nacional de Planeación.

El procedimiento recomendado en esta Guía para determinar la capacidad económica de un municipio es el siguiente:

- Determinar el porcentaje de usuarios que corresponden a cada estrato.
- Establecer dentro de cuál nivel económico asociado a los estratos está más del 50% de la población.
- La capacidad económica asociada a los estratos es:

Estratos único, 1 y 2	: Capacidad baja
Estratos 3 y 4	: Capacidad media
Estrato 5	: Capacidad media alta
Estrato 6	: Capacidad alta
Industria y comercio	: Capacidad alta
- De acuerdo con la tabla A.3.1 presentada al inicio de este capítulo, determinar cuál es el nivel de complejidad que corresponde a esta capacidad económica.

Para lograr la caracterización económica detallada de una población en la que se evidencia una actividad económica importante, el diseñador puede realizar un estudio de capacidad económica basado en criterios que permitan demostrar que el municipio se puede clasificar en un nivel de complejidad superior al determinado a partir del cálculo de la población. Se pueden emplear criterios tales como los salarios o el ingreso promedio en el municipio, el porcentaje de usuarios subsidiados, los índices de necesidades básicas insatisfechas, los índices de miseria, los valores promedio de los servicios públicos en el municipio comparados con el salario mínimo legal, y promedios de la zona.

1.4 ASIGNACIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA

El RAS establece en el numeral A.3.2 que *“El nivel de complejidad del sistema adoptado debe ser el que resulte mayor entre la clasificación obtenida por la proyección de la población urbana al período de diseño y aquel obtenido según la capacidad económica actual de los usuarios del sistema”*.

Adicionalmente, en el numeral A.3.3 se plantean los pasos a seguir para un municipio que quiere adoptar un nivel de complejidad diferente al obtenido siguiendo la metodología propuesta por el RAS en el capítulo A.3 y desarrollado en esta Guía RAS – 001.

Capítulo 2

ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN

2.1 GENERALIDADES

La evaluación del crecimiento de la población a lo largo de un período de diseño determinado es un elemento fundamental tanto para definir el nivel de complejidad de un sistema como para realizar el planeamiento y diseño detallado de cualquiera de los elementos que componen los sistemas de agua potable y saneamiento básico.

En esta Guía, el desarrollo metodológico y práctico que se realiza del tema de la población corresponde al numeral B.2.2 del RAS “Estimación de la Población”.

2.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE

El paso inicial para realizar proyecciones de población es la recolección y el análisis de la información existente pertinente. En orden de importancia se debe recolectar la siguiente información referida al casco urbano del municipio:

- Censos de población efectuados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) durante los años 1938, 1951, 1964, 1973, 1985 y 1993. Algunos de ellos involucran además censos de vivienda. Se requieren tanto para el municipio en cuestión como para el departamento al cual pertenece.
- Proyecciones recientes de población efectuadas por el DANE.
- Estimaciones de población actual y futura contenidas en los planes de desarrollo y en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio.
- Censos de suscriptores de los diferentes servicios públicos existentes en el municipio.
- Información del SISBEN referente a número de viviendas, familias y personas, la cual existe a partir de enero de 1994.

- Informes existentes en el municipio donde se involucre el planeamiento de cualquier servicio público.

2.3 MÉTODOS DE CÁLCULO PARA LAS PROYECCIONES DE POBLACIÓN

Los métodos que establece el RAS para el cálculo de las proyecciones de población se encuentran en el Título B.2, el cual se refiere a la determinación de la población, dotación y demanda. Estos métodos, resumidos en la tabla B.2.1 del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico se presentan a continuación:

TABLA B.2.1
MÉTODOS DE CÁLCULO PERMITIDOS SEGÚN EL NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA

Método por emplear	Nivel de complejidad del sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Wappaus	X	X	X	X
Gráfico	X ⁽¹⁾	X	X	
Exponencial	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾	X ⁽²⁾	
Detallar por zonas			X	X
Detallar densidades			X	X

(1) Sujeto a justificación.

(2) Optativo, recomendable.

Como puede observarse, estos métodos se recomiendan para los diferentes niveles de complejidad del sistema. Se sugiere entonces, proyectar las poblaciones con todos los métodos y luego optar por uno, verificando que su aplicación esté permitida según el nivel de complejidad.

Los métodos de cálculo empleados para la proyección de la población en la presente Guía son los recomendados por el RAS en el numeral B.2.2.4. A continuación se hace una breve descripción de cada uno de ellos:

1. Método aritmético

Este método es recomendado según el RAS para los niveles de complejidad bajo y medio (ver tabla B.2.1 del RAS). Se caracteriza porque la población aumenta a una tasa constante de crecimiento aritmético, es decir, que a la población del último censo se le

adiciona un número fijo de habitantes para cada período en el futuro. Este método es recomendado para pequeñas poblaciones de poco desarrollo o con áreas de crecimiento casi nulas. El método supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc})$$

donde:

P_f = población (habitantes) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población

P_{uc} = población (habitantes) correspondiente al último año censado con información

P_{ci} = población (habitantes) correspondiente al censo inicial con información

T_{uc} = año correspondiente al último censo con información

T_{ci} = año correspondiente al censo inicial con información y

T_f = es el año al cual se quiere proyectar la información.

La aplicación exacta de la fórmula implica no tener en cuenta la dinámica de crecimiento en los años intermedios con información censal. Por tanto, se sugiere que a los resultados obtenidos se les haga análisis de sensibilidad teniendo en cuenta las siguientes variaciones metodológicas:

- Usar como año inicial para la proyección cada uno de los años existentes entre el primero y el penúltimo censo.
- Calcular una tasa de crecimiento poblacional representativa de la dinámica entre los diferentes datos censales disponibles, y con esta realizar las proyecciones a partir de los datos del último censo.

2. Método geométrico

El RAS recomienda este método, para los niveles de complejidad bajo, medio y medio alto (ver tabla B.2.1 del RAS). Este método es útil en poblaciones que muestran una actividad económica importante, que generan un desarrollo apreciable y que poseen áreas de expansión importantes las cuales pueden ser dotadas, sin mayores dificultades, de la infraestructura de servicios públicos. El crecimiento es geométrico si el aumento de la población es proporcional al tamaño de la misma. La ecuación que se emplea es:

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

donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{1/(T_{uc}-T_{ci})} - 1$$

La aplicación de este método tampoco tiene en cuenta la dinámica de crecimiento en los años intermedios, por lo cual se sugiere que sus resultados sean sometidos a un análisis de sensibilidad similar al propuesto para el método aritmético.

3. Método exponencial

Es recomendado por el RAS para los niveles de complejidad bajo, medio y medio alto (ver tabla B.2.1 del RAS). La ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} * e^{k*(T_f-T_{ci})}$$

donde k es la tasa de crecimiento de la población, la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

donde:

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

P_{cp} = población del censo posterior

P_{ca} = población del censo anterior

T_{cp} = año correspondiente al censo posterior

T_{ca} = es el año correspondiente al censo anterior

\ln = logaritmo natural o neperiano.

La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos, para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación en poblaciones que muestran un desarrollo apreciable y poseen abundantes áreas de expansión.

4. Método de Wappaus

El RAS recomienda que este método se utilice para todos los niveles de complejidad (ver tabla B.2.1 del RAS). Es un método poco común, aunque sus resultados son confiables. Es importante aclarar que únicamente puede emplearse cuando el producto de la tasa

de crecimiento (i en %), y la diferencia entre el año a proyectar (T_f) y el año del censo inicial (T_{ci}) es menor a 200, es decir:

$$i * (T_f - T_{ci}) < 200$$

De lo contrario, debido a la forma matemática de la ecuación, la población futura obtenida será creciente pero negativa.

La ecuación que se emplea para el cálculo de la proyección de población es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} * \frac{(200 + i * (T_f - T_{ci}))}{(200 - i * (T_f - T_{ci}))}$$

donde la tasa de crecimiento (i en %) se calcula de acuerdo con el crecimiento de las poblaciones censadas y se obtiene de la siguiente expresión:

$$i = \frac{200 * (P_{uc} - P_{ci})}{(T_{uc} - T_{ci}) * (P_{ci} + P_{uc})}$$

Como no se tienen en cuenta los datos de censos intermedios, se recomienda que los resultados obtenidos por este método sean validados a través de un análisis de sensibilidad similar al sugerido para los métodos geométrico y aritmético.

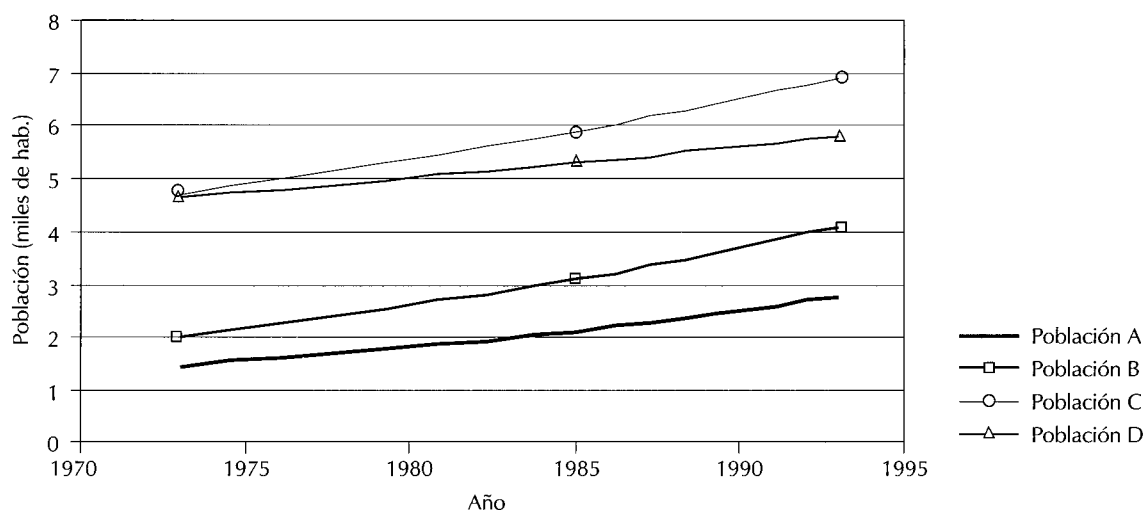
5. Método gráfico

Este método es opcional para el nivel de complejidad bajo según las exigencias del RAS y es permitido para los niveles medio y medio alto (ver tabla B.2.1 del RAS). Se utiliza principalmente cuando la información censal es insuficiente o poco confiable, lo cual hace que las proyecciones geométrica y exponencial arrojen resultados que no corresponden con la realidad, ya que sobrestiman de manera apreciable las poblaciones futuras. El método gráfico consiste en comparar gráficamente la población del municipio en estudio (para este ejemplo el municipio en estudio corresponde a la población A) con la de otros tres municipios del país, con las siguientes características (ver figura 1):

- Uno de los municipios (población B) debe ser de la misma región, con desarrollo, clima y tamaño similar¹ al del municipio en estudio y, obviamente, con información confiable en cuanto a proyecciones de crecimiento de la población.

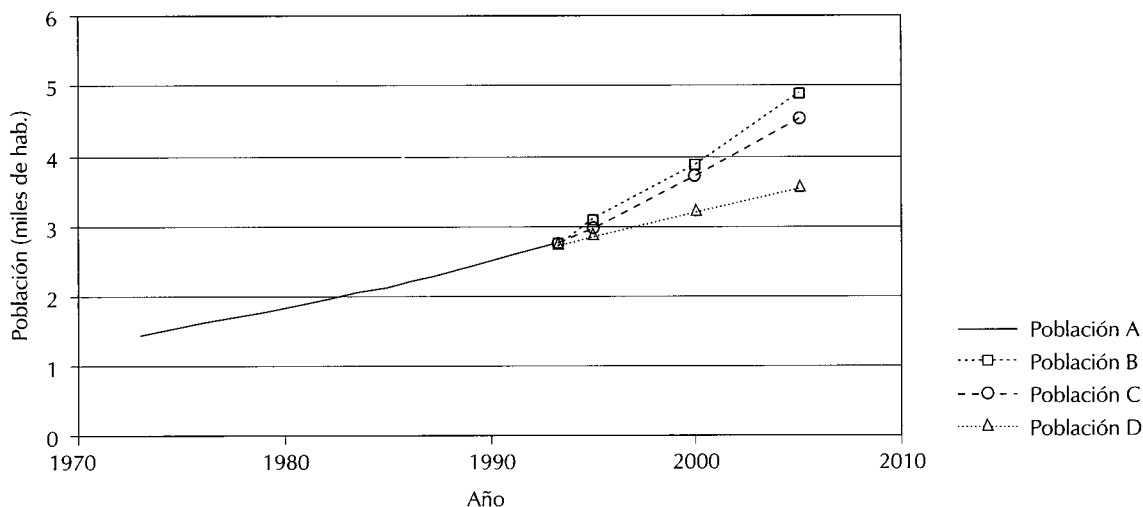
¹ Para el cálculo de las poblaciones utilizando este método, en la presente Guía se han considerado como poblaciones con desarrollo similar aquellas que presenten la misma tendencia de crecimiento poblacional. Sin embargo, en la medida de lo posible deben tenerse en cuenta aspectos económicos y sociales, entre otros, que permitan reforzar el criterio para determinar un desarrollo similar.

- El segundo municipio (población C) debe ser de la misma región, con desarrollo y clima similar al del municipio en estudio (población A), pero con un número de habitantes mayor al de este municipio; en lo posible debe tener el doble de la población o más, para no tener que realizar proyecciones sobre su crecimiento.
- El tercer municipio (población D) debe ser de otra región del país, con un número de habitantes mayor al del municipio en estudio (población A), y con un desarrollo y clima similar. Como en el caso anterior, es deseable que la población sea el doble o mayor, para evitar tener que hacer proyecciones.

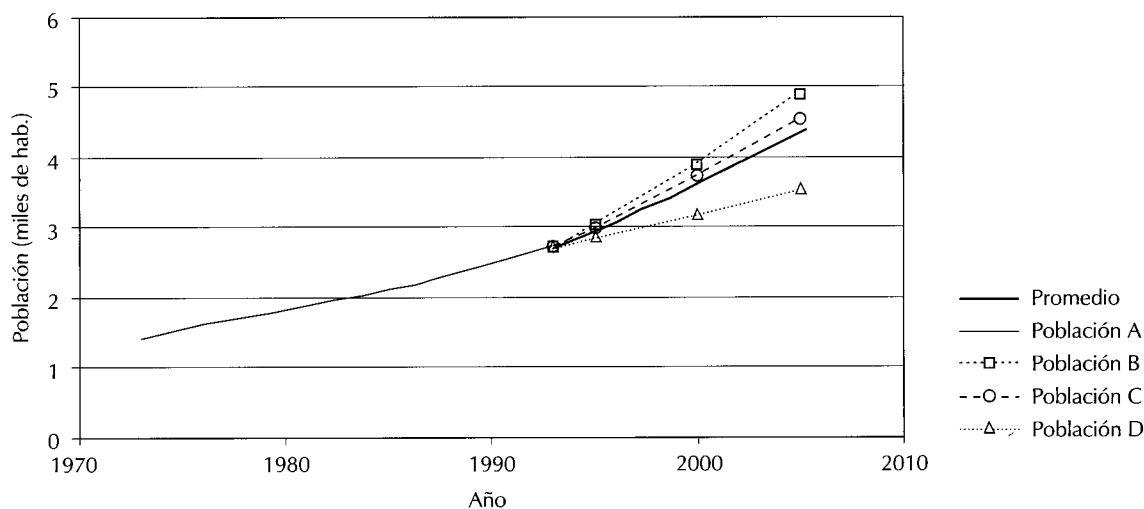
FIGURA 1**DATOS DE POBLACIÓN CENSADA DE LAS POBLACIONES A, B, C Y D**

El método supone que la población base (último censo) del municipio en estudio (A) crecerá de la misma forma que lo hicieron las otras tres poblaciones (B, C y D), cuando estas tuvieron el mismo tamaño (población base) de la población A. El procedimiento es el siguiente:

- Desplazar paralelamente, hasta el último censo de la población A, cada una de las curvas de crecimiento de las poblaciones B, C y D que sobrepasen dicho valor de población.
- Cuando alguna de estas curvas de crecimiento no alcance el período de diseño prolongar hasta el año de diseño, la última tendencia de crecimiento de dicha población.

FIGURA 2**DESPLAZAMIENTO Y EXTENSIÓN DE LAS CURVAS DE CRECIMIENTO QUE SOBREPASAN LA POBLACIÓN BASE DE A**

- Adoptar como la población del municipio A el promedio de los valores de población de las tres curvas desplazadas y prolongadas, para cada uno de los años de interés.

FIGURA 3**PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN A RESULTANTE DE MÉTODO GRÁFICO**

6. Estudios demográficos detallados

Para la estimación de la población en estudios de planeamiento de servicios en los niveles de complejidad medio alto y alto, se considera una buena práctica realizar estudios demográficos detallados, conducidos por profesionales en la demografía.

Métodos como el de los componentes demográficos, que analiza la variación en el tiempo de parámetros como la natalidad, la mortalidad, la emigración y la inmigración, así como la evolución de la participación poblacional de un municipio o ciudad respecto al departamento al cual pertenece, y a su vez la participación regional de este con referencia a la nación, son de gran utilidad y confiabilidad a fin de obtener un sustento sólido para las proyecciones de población, que a su vez se convierten en proyecciones de demanda de servicios y en ejecución de obras, que usualmente involucran importantes inversiones del municipio así como su endeudamiento por varios años. Sólo una adecuada proyección de población y de demanda de los servicios permitirá un óptimo aprovechamiento de estos recursos.

2.4 AJUSTES A LA POBLACIÓN PROYECTADA

2.4.1 Población Flotante

Cuando las proyecciones de población se van a usar posteriormente para el cálculo de demanda de servicios públicos, es necesario conocer si en el municipio bajo análisis existe la posibilidad de tener una población flotante en todos o en algunos días de la semana. Esta población flotante puede darse principalmente por:

- **Actividades turísticas:** Por sus condiciones climáticas o de ubicación el municipio puede tener días o épocas en donde es visitado por un número apreciable de turistas que pueden pernoctar o no. Por tanto, es necesario investigar la magnitud de esta actividad.
- **Actividades comerciales:** Algunos municipios pueden ser el centro de actividades comerciales ya sea a nivel de sus corregimientos, de su región o de su departamento, lo que genera que por días o épocas tenga una cantidad extra de visitantes originados por dichas actividades.
- **Actividades industriales y agropecuarias:** Municipios de algún tamaño con apreciable desarrollo industrial o agropecuario suelen atraer durante el día trabajadores que viven en otros municipios cercanos, usualmente más pequeños (ciudades dormitorio).
- **Las capitales de departamento o los municipios epicentros de una región atraen visitantes temporales,** pues usualmente agrupan una importante infraestructu-

ra de servicios públicos, de salud, de suministros, bancarios y de trámites gubernamentales.

2.4.2 Población migratoria

Ciudades intermedias –con algún grado de desarrollo y cercanas a zonas de violencia o zonas propensas a desastres– pueden ser objeto de movimientos migratorios de gran magnitud que originan importantes asentamientos humanos usualmente clandestinos, que implican crecimientos poblacionales puntuales que no necesariamente pueden ser detectados por censos u otros métodos de estimación de crecimiento de la población.

2.5 DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL DE LA POBLACIÓN

En el planeamiento y diseño de sistemas de agua potable y saneamiento básico en municipios de niveles de complejidad medio, medio alto y alto, es necesario estimar además de las proyecciones de población, las zonas o áreas del municipio donde estos desarrollos se ubicarán.

Por esta razón los estudios de distribución territorial o espacial de la población son necesarios y de fundamental importancia, especialmente para el planeamiento futuro de redes de acueducto y alcantarillado, la ubicación altimétrica y planimétrica de plantas de tratamiento, tanques, bombeos, etc.

Los análisis de distribución territorial de la población deben apoyarse en los estudios del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y en los planes del desarrollo del municipio, donde se determina a corto, mediano y largo plazo cuales son las zonas escogidas por las autoridades municipales para el desarrollo futuro.

Ante la inexistencia de estos estudios el consultor deberá, con el apoyo de especialistas en desarrollo urbano, definir las zonas probables de expansión a partir del análisis de los usos del suelo en el área urbana del municipio y del desarrollo económico.

El objetivo final de los estudios de distribución espacial de la población es, además de definir las zonas de futura expansión, la estimación de densidades poblacionales en dichas áreas de acuerdo con los incrementos de población previstos en el tiempo. A partir de esta distribución espacial de la población se obtendrá la distribución territorial de la demanda de servicios de acueducto y alcantarillado lográndose importante información detallada para un adecuado y óptimo diseño de los componentes de estos sistemas, en especial de las redes de distribución de agua potable y recolección de aguas servidas.

Capítulo 3

EVALUACIÓN DE LAS DOTACIONES DE AGUA EN UN SISTEMA DE ACUEDUCTO

3.1 GENERALIDADES

La dotación es la asignación de agua que se le hace a un habitante usuario de un sistema de acueducto. La demanda total de agua se obtiene cuando se multiplica la población que va a ser servida por la dotación; por tal razón, la evaluación de la dotación es tan importante como la proyección de la población. Dentro del planeamiento de expansiones de sistemas de acueducto y alcantarillado sólo una adecuada definición de estas dos variables permitirá el planteamiento de un plan de obras que garantice una óptima inversión de los recursos del municipio sin llegar a ninguno de los dos extremos: la generación de un “lucro cesante” por el sobredimensionamiento de la demanda o la insuficiencia a corto plazo de las obras propuestas por el subdimensionamiento de la misma.

La dotación, tal como ya se ha definido, se denomina usualmente “dotación bruta” (*dbruta*), y en su definición intervienen dos variables: la dotación neta (*dneta*) y el índice de pérdidas de agua en el sistema de acueducto (%*P*). El RAS define la dotación bruta (numeral B.2.6) como:

$$dbruta = \frac{dneta}{1 - \%P} \quad (EC. B.2.1)$$

La dotación neta (*dneta*) corresponde a la cantidad de agua que requiere un habitante o usuario del servicio de acueducto para satisfacer sus necesidades normales, sin considerar las pérdidas que ocurren en el sistema. En otros términos se podría decir que es el consumo normal de agua de una persona cuando se tiene un abastecimiento pleno. La unidad usual de medida de la dotación neta es litros por habitante por día (L-H-D).

Las pérdidas totales de agua de un sistema son la diferencia entre el volumen de agua tratada producido por el sistema y el volumen de agua medido como consumo de sus usuarios.

Se debe aclarar que mientras la dotación neta es un parámetro que se puede enmarcar dentro de un rango de valores mínimos y máximos normales, las pérdidas de agua son un parámetro particular y propio de cada sistema de acueducto, de las condiciones físicas de la red, de sus sistemas de macro y micromedición y de sus condiciones operativas; por tanto, deben ser evaluadas en detalle para cada sitio.

3.2 ESTIMACIÓN DE DOTACIONES NETAS

En la evaluación de las dotaciones netas de agua (consumos) de un municipio se pueden tener tantas dotaciones como usos de agua existan. Estos usos están bien definidos en el numeral B.2.3 del RAS e incluyen básicamente los usos: residencial, comercial, industrial, institucional, servicios recreativos, comunitarios, escuelas y rurales, todos los cuales deberán ser considerados en la evaluación de dotaciones y demandas de agua.

Sin embargo, es una práctica común de la ingeniería sanitaria que en sistemas donde el consumo de uso residencial represente más del 90% del consumo total, el cálculo de la demanda de agua se realice únicamente a partir de la dotación neta residencial sumándole a esta un pequeño porcentaje que tenga en cuenta los otros usos agrupados. En caso contrario, donde no predomine el uso residencial, el cálculo de la demanda de agua debe hacerse en forma desagregada para cada uno de los usos principales y para cada uno de ellos deben determinarse dotaciones netas. Todo lo anterior lo establece el RAS en el último párrafo del numeral B.2.6 “Dotación bruta”.

3.2.1 Metodología para estimar la dotación neta

La mejor forma de estimar la dotación neta es a partir de los consumos medidos históricamente, por ello la metodología para estimar la dotación neta siempre deberá cubrir los siguientes pasos en orden secuencial:

1. Investigar si para la facturación de consumos de agua en el sistema se tiene macro y micromedición; si es así, conseguir los registros históricos de consumos para los diferentes usos del agua, durante por lo menos un año.

Se debe indagar si la información obtenida ya fue objeto de análisis y crítica para descartar aquella proveniente de micromedidores en mal estado de funcionamiento. Si este proceso no se ha realizado, la información se debe analizar en detalle y depurar eliminando aquellos valores de consumo que por ser demasiado bajos o altos, indiquen deficiencia en la medida o en la lectura.

Adicionalmente, se deben constatar las condiciones operativas del sistema de suministro de agua durante el período de análisis de los consumos, para verifi-

car que los usuarios medidos tuvieron un abastecimiento pleno. En un sistema en el que exista racionamiento el consumo medido no es el mejor estimativo de las necesidades reales de un usuario que corresponde a la dotación neta.

2. Si en el municipio en cuestión no existe medición detallada de consumos de agua, se puede optar por instalar algunos micromedidores en acometidas de los usuarios representativos de los principales usos del agua en dicho municipio. La instalación debe hacerse en aquellas zonas en que se garantice la continuidad del servicio y una presión mayor de diez metros de columna de agua (m.c.a). El tiempo mínimo de medida es de una semana y el ideal de un mes. A partir de esas lecturas se puede hacer un estimativo de consumos y dotaciones netas de agua para el municipio.
3. Si para estimar la dotación neta no es posible ninguno de los dos métodos anteriores, se debe recurrir a conseguir información detallada de consumos de agua en un municipio cercano, ojalá de tamaño similar y con condiciones climáticas, socioeconómicas y culturales semejantes, es decir, de un nivel de complejidad similar.
4. Como última opción, y cuando no es factible apelar a ninguno de los tres métodos anteriores, se debe recurrir a “asignar con criterio” una dotación neta a cada uso del agua. Para el caso de la dotación neta residencial esta asignación debe hacerse dentro de los valores máximos y mínimos descritos por el RAS en el numeral B.2.4, los cuales se comentan en el siguiente numeral de esta Guía. Esta opción sólo debe ser adoptada para municipios de niveles de complejidad bajo y medio.

3.2.2 Valores máximos y mínimos para la dotación neta residencial

Los valores máximos y mínimos de las dotaciones netas por uso residencial están estipulados por el RAS en la tabla B.2.2, la cual se transcribe a continuación:

TABLA B.2.2

DOTACIÓN NETA RESIDENCIAL

SEGÚN EL NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L-H-D)	Dotación neta máxima (L-H-D)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	—
Alto	150	—

Independientemente de los valores de dotaciones netas residenciales que se obtengan de la aplicación de las metodologías descritas en el numeral 3.2.1, los valores resultantes deben estar dentro de los rangos previstos en la tabla anterior. Eso sí, se deben tener en cuenta las posibilidades de corrección de esta dotación neta que permite el RAS y que están ampliamente descritas en el numeral B.2.4.4. Estas correcciones permiten incrementar los valores de la tabla B.2.2 por efectos del clima hasta en un 20% (ver tabla B.2.3) y de acuerdo con las condiciones socioeconómicas y el tamaño de la población, siempre y cuando se justifiquen con registros históricos.

TABLA B.2.3

VARIACIÓN A LA DOTACIÓN NETA RESIDENCIAL SEGÚN EL CLIMA Y EL NIVEL DE COMPLEJIDAD

Nivel de complejidad del sistema	Clima cálido (> 28°C)	Clima templado (entre 20 A 28°C)	Clima frío (menos de 20°C)
Bajo	+ 15%	+ 10%	No se admiten correcciones por clima, usar valores tabla B.2.2
Medio	+15%	+ 15%	
Medio alto	+ 20%	+ 15%	
Alto	+ 20%	+ 15%	

En aquellas poblaciones donde los usos diferentes al residencial sean de importancia, deben analizarse en detalle y evaluarse en forma particular los llamados “grandes consumidores”. Según el RAS (numeral B.2.7.6) un gran consumidor es aquel cuyo consumo es mayor a 3 l/s (260 m³/día).

3.3 EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE AGUA EN EL SISTEMA

Como ya se mencionó, las pérdidas totales de agua de un sistema de acueducto son la diferencia en volumen entre el agua producida por el sistema y el volumen de agua medido como consumo de los usuarios.

Dentro de estas pérdidas están incluidas las pérdidas físicas y las pérdidas comerciales del sistema. En una condición ideal en donde no existan “usuarios clandestinos” y se tenga una micromedición con cobertura total y alta confiabilidad, las pérdidas comerciales no existirían y se tendría un sistema únicamente con pérdidas físicas cuya magnitud sería la diferencia entre el volumen producido y el volumen realmente consumido. Estas pérdidas físicas –a veces llamadas pérdidas técnicas– incluirían las fugas de agua en la red de distribución, en tanques de almacenamiento y los errores en la macromedición y micromedición.

Para la estimación de las pérdidas de un sistema es necesario confrontar la macromedición del agua entregada al sistema con la micromedición efectuada a los usuarios de dicho sistema en un período dado. Usualmente esta comparación se realiza a nivel de volúmenes mensuales, para obtener el % de pérdidas (P) como:

$$P(\%) = \frac{\text{Volumen entregado} - \text{Volumen medido como consumo}}{\text{Volumen entregado}}$$

Si estas mediciones no existen debe ejecutarse un programa de mediciones para determinar el índice de pérdidas, que es propio y particular de cada sistema.

El máximo porcentaje de pérdidas admisible está definido por el RAS en la tabla B.2.4; sin embargo, se debe mencionar que la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) tiene una reglamentación al respecto y, por tanto, los estudios de planeamiento de sistemas de agua potable deben realizarse teniendo en cuenta en el cálculo de dotaciones brutas, los índices de pérdidas de agua acordes con los establecidos por la CRA, pues el RAS, en el numeral B.2.6, indica que el valor meta de las pérdidas de agua debe ser el menor entre el requerido por el RAS en la tabla B.2.4 y el definido por la CRA. Cuando las pérdidas del sistema sean mayores a estos valores, las dotaciones se deben calcular con los índices actuales pero estos se deben ir reduciendo paulatinamente hasta llegar a las metas previstas por la CRA; para ello se deben proyectar e implementar, dentro de las obras previstas, programas de reducción de pérdidas de agua.

TABLA B.2.4
PORCENTAJE ADUCIBLE DE PÉRDIDAS DE AGUA
EN EL CÁLCULO DE LA DOTACIÓN BRUTA*

Nivel de complejidad del sistema	% de pérdidas
Bajo	40%
Medio	30%
Medio alto	25%
Alto	20%

* Comparar con valores requeridos por la CRA y escoger el menor para los cálculos de dotaciones brutas.

3.4 DEFINICIÓN DE DOTACIONES BRUTAS

Según el numeral B.2.6 del RAS la dotación bruta se calcula como:

$$dbruta = \frac{dneta}{1 - \%P} \text{ (EC. B.2.1)}$$

La dotación bruta se debe calcular para cada uno de los usos del agua en el sistema analizado, salvo en los casos donde el uso residencial es mayor al 90% de los usos totales. En ellos la dotación residencial se considera como representativa del sistema siendo necesario adicionarla sólo en un pequeño porcentaje para tener en cuenta el consumo de los otros usos.

En las proyecciones de la dotación bruta debe considerarse la variación del índice de pérdidas en el tiempo.

Capítulo 4

CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA

4.1 GENERALIDADES

La demanda total de agua del sistema de acueducto de un municipio corresponde a la sumatoria de las demandas originadas por los diferentes usos que se le dan al suministro. Por tanto, la proyección que se haga de la demanda hacia el futuro debe corresponder a la proyección de los diferentes usos, dando mayor importancia a aquellos que tienen mayor participación dentro de los consumos.

Para un alto porcentaje de los municipios colombianos donde se demuestre que el consumo del uso residencial corresponde a más de 90% del volumen total de agua consumida, es válido realizar las proyecciones de demanda de agua contemplando únicamente la evolución en el tiempo de la población servida y de la dotación bruta residencial; esto es, calculando únicamente la demanda de agua residencial e incrementando ese valor en aquel porcentaje que corresponde a los otros usos, para obtener la demanda total de agua. Lo anterior presupone que la participación de los otros usos respecto a la demanda residencial se mantiene porcentualmente constante en el tiempo, lo cual es válido para poblaciones donde los otros usos se refieren a los comerciales e institucionales, los cuales son proporcionales al tamaño de la población. Esta metodología no puede aplicarse a proyecciones de la demanda en municipios donde el uso industrial sea importante en la actualidad o del cual se espere un crecimiento notable en el futuro, pues la magnitud de los consumos por este uso no depende mucho del tamaño de la población, sino de la actividad productiva que se realiza en dicha industria.

El desarrollo que se le dará al cálculo de la demanda de agua en esta Guía corresponde a aquella situación en donde el uso residencial es el predominante respecto a los consumos totales, que es la condición normal de un municipio típico colombiano, y corresponde a lo tratado en el numeral B.2.7, "Demanda", del RAS.

4.2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA TOTAL DE AGUA

La demanda media total de agua (Q_{md}) de un municipio, ya sea para una situación actual o para una condición futura, es la suma de la demanda media por el uso residencial (Q_{mr}) más la demanda media por otros usos (Q_{ou}), estimadas ambas para ese período de tiempo:

$$Q_{md} = Q_{mr} + Q_{ou}$$

La demanda media de agua debe ser calculada para el horizonte de diseño (final del período de diseño) del sistema o componente sobre el cual se realiza el planeamiento o el diseño detallado.

4.2.1 Demanda media residencial (Q_{md})

Es el caudal medio demandado por la población servida de un sistema de acueducto teniendo en cuenta la dotación bruta asignada; puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{mr} = \frac{P_s * d_{bruta}}{86.400}$$

donde:

Q_{mr} = Demanda media residencial en litros/segundos (l/s)

P_s = Población servida (habitantes)

d_{bruta} = Dotación bruta en litros por habitante por día (L-H-D)

La población servida o atendida (P_s) es la población total estimada para un determinado período, multiplicada por la cobertura que se pretenda dar al servicio de acueducto en ese período.

4.2.2 Demanda media de otros usos (Q_{ou})

La demanda media de otros usos puede ser calculada de la siguiente manera:

- Cuando el consumo de los otros usos (incluido el industrial) es menor al 10% del consumo total, se puede calcular como un porcentaje de la demanda media residencial; dicho porcentaje será igual al volumen consumido por los otros usos, dividido entre el total del volumen de agua consumido por el municipio. En este caso se asume que el crecimiento de la demanda de agua de los otros usos es similar al residencial.
- Cuando el consumo de los otros usos supera el 10% del consumo total, se debe hacer una evaluación detallada de la demanda media que cada uno genera. Sin

embargo, algunos usos como el comercial y el institucional se pueden seguir manejando como un porcentaje de la demanda residencial, en atención a que estos usos están muy ligados al tamaño de la población. En otros usos como el industrial, la demanda de agua está asociada al proceso productivo y debe ser calculada en forma específica para cada caso.

Para el cálculo de la demanda de agua originada por poblaciones flotantes se debe revisar si la dotación neta estimada para el uso residencial es aplicable a esta condición. Para poblaciones flotantes que no pernoctan o vivan las 24 horas en el municipio, deben calcularse dotaciones netas reducidas consistentes con los consumos reales de esta población; en cambio, para poblaciones turísticas en climas cálidos los hábitos de los visitantes pueden conducir a dotaciones netas superiores a las que normalmente tienen los residentes del municipio.

4.3 DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL DE LA DEMANDA

La distribución espacial de la demanda media de agua es de fundamental importancia para el planeamiento y diseño detallado de varios componentes de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, especialmente las redes de acueducto y alcantarillado.

Para calcular la distribución espacial de la demanda se parte de la distribución espacial de la población, esta se afecta por la cobertura del servicio para hallar la población servida y esta última se multiplica por la dotación bruta, de acuerdo con lo especificado en el numeral 4.2 de esta Guía.

4.4 VARIACIONES DE LA DEMANDA DE AGUA

La demanda total media (Qmd) representa el caudal medio diario que requiere un municipio para satisfacer las necesidades de agua de sus habitantes. Como esta demanda no es uniforme las 24 horas del día ni todos los días del año, se requiere calcular las siguientes variaciones de la demanda, que son útiles para el diseño de los diferentes componentes del sistema de acueducto:

- Demanda Máxima Diaria (DMD)
- Demanda Máxima Horaria (DMH)

4.4.1 Demanda máxima diaria (QMD)

Corresponde a la demanda máxima estimada en un lapso de 24 horas durante un período de análisis de un año. Se origina en el hecho de que los hábitos de consumos de agua de la población no son los mismos todos los días de la semana ni todos los días del año.

La demanda máxima diaria (QMD) se calcula mediante la siguiente ecuación (ver numeral B.2.7.2 del RAS).

$$QMD = Qmd * K1 \text{ (B.2.3)}$$

El coeficiente *K1* se denomina coeficiente de consumo máximo diario y se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los registros de medición en un período mínimo de un año, o el promedio de varios años.

En caso de que estos datos históricos de consumo no existan, se recomienda usar los siguientes valores establecidos en la tabla B.2.5 del RAS:

TABLA B.2.5
COEFICIENTES DE CONSUMO DIARIO (k1),
SEGÚN EL NIVEL DE COMPLEJIDAD

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de consumo máximo diario (k1)
Bajo	1,30
Medio	1,30
Medio alto	1,20
Alto	1,20

Los siguientes componentes de los sistemas de acueducto deben ser diseñados para atender la demanda máxima diaria estimada para el período de diseño:

- Captaciones de agua superficial y subterránea; a estas se deben adicionar las pérdidas en los componentes de aducción o conducción de agua cruda y tratamiento.
- Aducciones y conducciones de agua cruda (adicionar pérdidas en tratamiento)
- Tratamiento de agua para su potabilización.
- Estaciones de bombeo, ya sean de agua cruda o agua tratada. En las primeras se deben tener en cuenta adicionalmente las pérdidas de agua durante la conducción de agua cruda y el posterior tratamiento. Las estaciones de bombeo de agua tratada técnicamente diseñadas bombean a un tanque de almacenamiento o compensación y no directamente a la red; de trabajar en esta última condición, deberían ser diseñadas con la demanda máxima horaria.

4.4.2 Demanda máxima horaria (QMH)

Corresponde a la demanda máxima estimada durante una hora en un período de un año, sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se origina en el hecho de que durante un día los consumos de agua no son uniformes sino que son mayores en algunas horas donde la actividad y el consumo de agua de la población se concentran.

La demanda máxima horaria es el parámetro para el diseño de redes de distribución y eventualmente para estaciones de bombeo cuando estas bombean en forma directa a la red (técnicamente no aconsejable) o lo hacen a un pequeño tanque de nivel constante que comanda la operación de la red.

La demanda máxima horaria (QMH) se calcula mediante la siguiente ecuación (ver numeral B.2.7.3 del RAS).

$$QMH = QMD * K2 \text{ (B.2.4)}$$

El coeficiente $K2$ se denomina coeficiente de consumo máximo horario y puede calcularse como la relación entre el caudal máximo horario (QMH) y el caudal máximo diario (QMD) registrados durante un período mínimo de un año, sin incluir los días en que ocurran fallas relevantes en el servicio (RAS, numeral B.2.7.5). Estos registros deben ser realizados sobre la red de distribución o a la salida de los tanques de almacenamiento y de compensación del sistema.

Dado que el valor del coeficiente de consumo máximo horario ($K2$) es bastante sensible al tamaño de la población y a la simultaneidad de los diferentes usos del agua, en lo posible debe ser calculado en forma específica en cada municipio. En donde no exista información para hacerlo se recomienda que por medio de mediciones en la red de distribución se establezca la curva de variación horaria de la demanda, que es la variación de los consumos hora a hora a lo largo de las 24 horas del día; para ello se deben tomar mediciones continuas de caudal al menos durante una semana (siete días) que se considere representativa del consumo promedio del municipio. Cuando se utilice este método debe recordarse que en la curva de variación horaria de la demanda se obtiene el consumo pico o máximo en 24 horas referido al consumo medio de ese período, esto es, la relación entre la demanda máxima horaria (QMH) y la demanda media (Qmd) que corresponde al producto de los coeficientes de consumo máximo diario ($K1$) y máximo horario ($K2$).

$$QMH = QMD * K2 = Qmd * K1 * K2$$

$$QMH/Qmd = K1 * K2$$

Por tanto, si ya se ha estimado $K1$ para el sistema, es factible calcular $K2$.

La curva de variación horaria de la demanda permite también calcular las necesidades de volumen de almacenamiento de agua para atender las variaciones de los consumos a lo largo de un día.

Cuando no sea posible realizar mediciones o tener registros para calcular en forma específica el valor del coeficiente de consumo máximo horario (K_2) de un sistema, se recomienda utilizar la tabla B.2.6 que establece el RAS.

TABLA B.2.6

COEFICIENTE DE CONSUMO MÁXIMO HORARIO (K_2)*

SEGÚN EL NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA Y EL TIPO DE RED DE DISTRIBUCIÓN

Nivel de complejidad del sistema	Red menor de distribución (1)	Red secundaria (2)	Red matriz (3)
Bajo	1,60	—	—
Medio	1,60	1,50	—
Medio alto	1,50	1,45	1,40
Alto	1,50	1,45	1,40

* Referidos a la demanda máxima diaria (QMD).

(1) Corresponde a diámetros hasta de 100 mm (4 pulgadas).

(2) Incluye diámetros mayores de 100 mm (4 pulgadas) y menores de 300 mm (12 pulgadas).

(3) Tuberías de diámetros mayores o iguales a 300 mm (12 pulgadas).

Capítulo 5

EJEMPLO DE APLICACIÓN

En este capítulo se presenta un ejemplo de aplicación que cubre los temas básicos desarrollados en esta Guía, los cuales son: definición del nivel de complejidad, estimación de la población, evaluación de las dotaciones y cálculo de la demanda de agua.

El municipio que se ha seleccionado para la realización del ejemplo es San Vicente, en el Departamento de Antioquia. Las principales razones para su elección fueron:

- Dado que estas Guías van dirigidas principalmente a orientar la aplicación de los temas tratados en municipios pequeños, donde no se tienen consultores especializados, se designó a San Vicente por ser un municipio típico colombiano con población urbana menor de 12.000 habitantes. Estos municipios pequeños usualmente no tienen la capacidad económica para realizar estudios de planeamiento para la expansión de sus servicios públicos, ni tienen acceso a la tecnología que manejan los consultores que realizan dichos estudios en ciudades de mayor tamaño.
- La apreciable información existente en el municipio referente al Plan de Ordenamiento territorial y a la infraestructura física y forma de prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y recolección de los desechos sólidos, permitía una aplicación de todos los aspectos metodológicos tratados en la Guía.

5.1 INFORMACIÓN BÁSICA

La siguiente es información recopilada para la elaboración del ejemplo.

- **Localización geográfica**

El municipio de San Vicente tiene una extensión aproximada de 232 km² y está situado sobre la Cordillera Central en el oriente del Departamento de Antioquia.

El casco urbano de San Vicente está ubicado en una ladera con pendientes fuertes, su elevación media es de 2.150 m.s.n.m. y tiene una temperatura promedio de 17°C.

■ Información de censos de población

Para el casco urbano de San Vicente se dispone de la siguiente información censal, según el DANE.

TABLA 1
INFORMACIÓN CENSAL
PARA EL MUNICIPIO DE SAN VICENTE

Año	Población cabecera habitantes
1938	776
1951	676
1964	1.467
1973	3.329
1985	3.998
1993	3.524

Adicionalmente, el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio ha estimado para el año 1999 una población de 4.228 habitantes, número obtenido de encuestas realizadas a todas las viviendas del casco urbano. Por su confiabilidad este dato se toma también como información censal.

■ Estratificación socioeconómica de viviendas

Para el casco urbano, el municipio tiene definido el número de viviendas y establecimientos existentes así como la siguiente estratificación económica:

TABLA 2
ESTRATIFICACIÓN ECONÓMICA

Usos	Número de inmuebles	% participación	% por uso
1. Residencial			
Estrato 1	95		7,0%
Estrato 2	492		36,6%
Estrato 3	738		54,9%
Estrato 4	20		1,5%
Subtotal residencial	1.345	88%	100.0%
2. Otros usos			
Comercial	168		90,0%
Oficial	19		10,0%
Subtotal otros usos	187	12%	100,0%
Total	1.532	100%	

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial de San Vicente, Masora, 1999.

■ Indicadores de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)

Las encuestas realizadas por el Departamento de Antioquia indican que en el casco urbano de San Vicente el 3% de la población vive en condiciones de miseria y el 28% vive en condiciones de pobreza general.

■ Niveles de ingresos

Las estadísticas de ingresos (pesos del año 1999) para el casco urbano indican:

TABLA 3
ESTADÍSTICAS DE INGRESOS PARA EL CASCO
URBANO (PESOS DE 1999)

Rango ingreso (\$)	% población
< 100.000	85%
100.000 -200.000	5%
200.000 -300.000	5%
> 300.000	5%
	100%

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial de San Vicente, Masora, 1999.

El nivel de ingresos promedio de los habitantes del municipio se cataloga como muy bajo.

■ Número de suscriptores del acueducto

El número de suscriptores del servicio de acueducto registrado para el año 1999 por la Secretaría de Servicios Públicos (entidad prestadora del servicio) es de 1.516. De la comparación del número de viviendas y establecimientos existentes en el municipio con el número de suscriptores del acueducto se determina que sólo 16 viviendas de uso residencial no cuentan con el servicio de acueducto, por encontrarse ubicadas en una zona alta, por encima de la cota máxima de servicio del sistema. La estratificación de los suscriptores del acueducto para los diferentes usos del agua ha sido definida a partir de la estratificación de las viviendas y es la siguiente:

TABLA 4
ESTRATIFICACIÓN DE LOS SUSCRIPTORES
PARA LOS DIFERENTES USOS DEL AGUA

Usos del suelo	Número de suscriptores	% por uso
1. Residencial		
Estrato 1	95	6,3%
Estrato 2	476	31,4%
Estrato 3	738	48,7%
Estrato 4	20	1,3%
Subtotal residencial	1.329	87,7%
2. Otros usos		
Comercial	168	11,1%
Oficial	19	1,2%
Subtotal otros usos	187	12,3%
Total	1.516	100.0%

Fuente: Secretaría de Servicios Públicos de San Vicente, febrero/00.

■ Facturación del sistema de acueducto

Se dispone de la facturación detallada de un año completo (1999) y la cobertura de la micromedición es del 100% de los suscriptores. El siguiente es el resumen del consumo promedio mensual, para los diferentes usos, para el año de facturación disponible:

TABLA 5
RESUMEN DEL CONSUMO PROMEDIO MENSUAL
PARA LOS DIFERENTES USOS DEL AGUA

Usos del agua	Número de suscriptores	Consumo medio facturado		
		Total mes (m ³)	Promedio (l/s)	m ³ /suscriptores*
1. Residencial	1329	13064	5,04	9,8
2. Comercial	168	1.814	070	10,8
3. Oficial	19	1.184	0,46	62,3
Total	187	16.062	6,20	10,6

Al observar en detalle los listados de facturación se detectó que 223 suscriptores registraban un consumo nulo y que 441 suscriptores presentaban un consumo menor a 3 m³/mes, lo que indica que en estos sitios la lectura de los micromedidores no es confiable y que estos probablemente estén trabados o dañados.

■ Volumen de producción de agua tratada

Al igual que la facturación, se analizaron los volúmenes de producción de agua tratada del último año (1999), encontrándose que la producción media mensual es de 26.957 m³ (unos 10,4 l/s).

Igualmente, se detectó que a la planta de tratamiento ingresan en promedio 11,1 l/s de agua cruda lo cual indica que allí se utilizan 0,7 l/s para lavado y operación; este caudal que se pierde en la planta equivale al 6,3% del agua cruda.

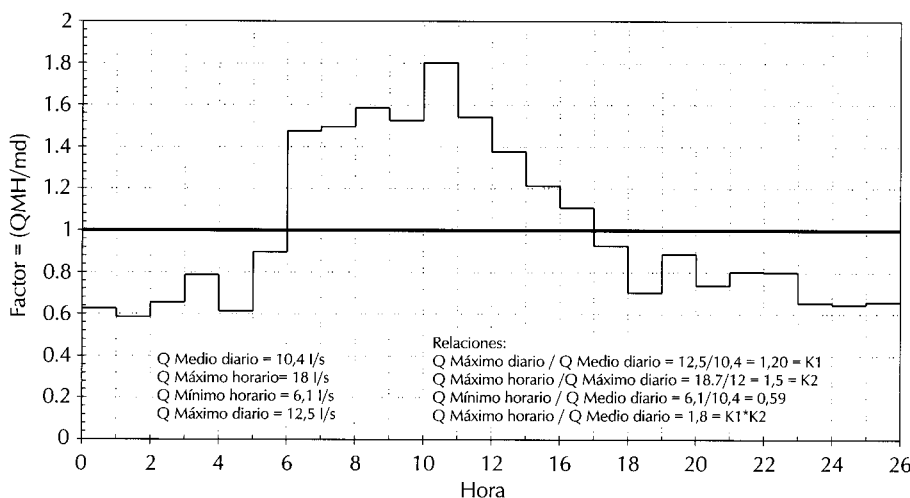
■ Curva de variación horaria de la demanda

Por mediciones a la salida del tanque de almacenamiento de agua tratada que alimenta toda la red de distribución del área urbana del municipio, se obtuvo una curva promedio de variación horaria de la demanda a lo largo de 24 horas.

La curva presentada en forma adimensional (referida al consumo medio diario) se muestra a continuación.

FIGURA 1

CURVA DE VARIACIÓN HORARIA DE LA DEMANDA - SAN VICENTE, ANTIOQUIA



Fuente: Secretaría de Servicios Públicos de San Vicente, febrero/00

5.2 PROYECCIONES DE POBLACIÓN Y DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL

Con el fin de tener información suficiente para estudios de planeamiento del sistema de acueducto y el posterior diseño de cualquiera de sus componentes, las proyecciones de población se realizaron para períodos de diseño de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 años a partir del presente año (2000).

La proyección se realizó a partir de seis datos de censo de población entre los años 1938 a 1993 y del dato de población del año 1999 estimado en el POT. Se analizaron los métodos aritmético, geométrico, exponencial, Wappaus y gráfico. La información básica usada en las proyecciones es:

TABLA 6
INFORMACIÓN BÁSICA UTILIZADA
EN LAS PROYECCIONES DE POBLACIÓN

Año	Población cabecera (habitantes)
1938	776
1951	676
1964	1.467
1973	3.329
1985	3.998
1993	3.524
1999	4.228

5.2.1 Método aritmético

$$P2.000 = 4.228 + (4.228 - 776) * (2000 - 1999) / (1999 - 1938)$$

$$P2.000 = 4.228 + 3.451 * 1/61 = 4.285 \text{ habitantes}$$

La tasa de crecimiento obtenida es de 56,6 habitantes por año (3.451/61) la cual se mantiene constante en el tiempo para la estimación de las poblaciones futuras.

Al calcular los otros años en forma similar se tiene:

P2005 =	4.228	+	56,6 * 6	=	4.568 habitantes
P2010 =	4.228	+	56,6 * 11	=	4.851 habitantes
P2015 =	4.228	+	56,6 * 16	=	5.133 habitantes
P2020 =	4.228	+	56,6 * 21	=	5.417 habitantes
P2025 =	4.228	+	56,6 * 26	=	5.700 habitantes
P2030 =	4.228	+	56,6 * 31	=	5.983 habitantes

Las proyecciones de población obtenidas por este método indican que la tasa media anual de crecimiento de la población va decreciendo desde 1,32% en el quinquenio (2005-2000) a 0,99% en el quinquenio (2030-2025); estos valores son bastante bajos referidos a áreas urbanas de municipios típicos colombianos de ese tamaño, que en la actualidad presentan tasas de crecimiento entre 1,5% y 2%. Lo anterior indica que para el caso de San Vicente el método aritmético subestima la población futura.

Con el fin de verificar la sensibilidad de la estimación ante la variación del año del censo inicial, se evaluó la población del año 2000, tomando cada vez un año de partida diferente entre los diversos censos disponibles. El resultado fue el siguiente:

CENSO INICIAL

ESTIMACIÓN POBLACIÓN AÑO 2000

1938	4.285
1951	4.302
1964	4.307
1973	4.263
1985	4.244
1993	4.345
Promedio	4.291

El análisis muestra que para el presente caso no hay gran variación entre realizar los estimativos de población tomando los censos más antiguo y más reciente (método original) y realizarlos como una variante al método original, entre un censo más reciente y el censo final, para tener en cuenta la dinámica de los años intermedios. Para el caso de San Vicente, la aplicación del método aritmético original estima una población de 4.285 habitantes para el año 2000, mientras el promedio de todas las posibles combinaciones cambiando el censo inicial, estima una población de 4.291 para el mismo año, lo que no implica una gran variación y sensibilidad; la razón es que los datos censales son consistentes y muestran una tendencia de crecimiento bastante uniforme. Es bueno aclarar que la conclusión encontrada no puede generalizarse, y que la verificación de la sensibilidad de las estimaciones con la metodología antes descrita puede ser de utilidad en otras aplicaciones donde los datos censales sean más erráticos y produzcan gran variabilidad en los estimativos, en cuyo caso se recomienda adoptar el valor promedio obtenido variando el año del censo inicial, como en el caso de la tabla mostrada anteriormente.

5.2.2 Método geométrico

La tasa de crecimiento anual de la población es:

$$r = \left(\frac{4.228}{776} \right)^{1/(1999-1938)} - 1 = 0,0282 = 2,82\%$$

En este método esta tasa se mantiene constante en el tiempo, por tanto la población futura es:

P2000 =	4.228	*	$(1+0,0282)^{2000-1999}$	=	4.347 habitantes
P2005 =	4.228	*	$(1+0,0282)^{2005-1999}$	=	4.996 habitantes
P2010 =	4.228	*	$(1+0,0282)^{2010-1999}$	=	5.741 habitantes
P2015 =	4.228	*	$(1+0,0282)^{2015-1999}$	=	6.597 habitantes
P2020 =	4.228	*	$(1+0,0282)^{2020-1999}$	=	7.582 habitantes
P2025 =	4.228	*	$(1+0,0282)^{2025-1999}$	=	8.713 habitantes
P2030 =	4.228	*	$(1+0,0282)^{2030-1999}$	=	10.012 habitantes

Al igual que en el método aritmético, se recomienda realizar la sensibilidad de la estimación variando el año del censo inicial entre los censos intermedios disponibles; para el presente caso se realizaron los respectivos cálculos para la población proyectada del año 2000, y se encontraron los siguientes valores:

TABLA 7
CÁLCULOS PARA LA POBLACIÓN
PROYECTADA DEL AÑO 2000

Censo inicial	Estimación población año 2000
1938	4.347
1951	4.392
1964	4.357
1973	4.267
1985	4.245
1993	4.358
Promedio	4.327

Como se aprecia, este valor promedio (4.327) no difiere mucho del valor estimado sólo con los censos extremos (4.347) y se puede decir que el valor así estimado es poco sensible al cambio del año del censo inicial. Como ya se mencionó, la razón para que esto suceda es que en el caso aquí analizado la dinámica poblacional se mantiene bastante uniforme durante los censos intermedios; sin embargo esta situación no puede generalizarse y habrá ocasiones donde el análisis de sensibilidad sí tiene aplicación.

5.2.3 Método exponencial

Inicialmente se calculan las tasas de crecimiento de la población (K) para cada par de datos censales conocidos. Para el caso de San Vicente en este cálculo no se involucran los censos de los años 1951, 1973 y 1985, pues 1951 muestra un decrecimiento de la población respecto al año censal anterior, 1973 presentan un aumento desmesurado respecto a 1964 (9% anual), y 1985 comparado con el censo siguiente (1993) presenta decrecimiento lo cual genera tasas de crecimiento negativos. Con el resto de datos censales se obtienen tres valores de K así:

$$K1 = \frac{\ln 1.467 - \ln 776}{1964 - 1938} = 0,024$$

$$K2 = \frac{\ln 3.524 - \ln 1.467}{1993 - 1964} = 0,03$$

$$K3 = \frac{\ln 4.228 - \ln 3.524}{1969 - 1993} = 0,03$$

El promedio de las tasas de crecimiento anual será:

$$K = \frac{0,024 + 0,03 + 0,03}{3} = 0,028 = 2,8\%$$

Las proyecciones de población con esta tasa, por este método, son:

P2000 =	776	*	$e^{0,028 (2000 - 1999)}$	=	4.403 habitantes
P2005 =	776	*	$e^{0,028 (2005 - 1999)}$	=	5.065 habitantes
P2010 =	776	*	$e^{0,028 (2010 - 1999)}$	=	5.826 habitantes
P2015 =	776	*	$e^{0,028 (2015 - 1999)}$	=	6.702 habitantes
P2020 =	776	*	$e^{0,028 (2020 - 1999)}$	=	7.709 habitantes
P2025 =	776	*	$e^{0,028 (2025 - 1999)}$	=	8.868 habitantes
P2030 =	776	*	$e^{0,028 (2030 - 1999)}$	=	10.200 habitantes

Dado que la tasa promedio de crecimiento anual es muy similar a la del método geométrico, se obtienen proyecciones de población similares a este.

5.2.4 Método de Wappaus

Usando el primero y el último de los datos censales se obtiene la tasa de crecimiento poblacional (i en %) así:

$$i = \frac{200 (4.228 - 776)}{(1999 - 1938) * (4.228 + 776)} = 2,26 \text{ anual}$$

Con este valor se verifica el rango de aplicación de la fórmula:

$$2,26 * (2030 - 1938) < 200$$

$$208 > 200 \text{ por tanto no cumple.}$$

En este caso la fórmula de Wappaus no es aplicable, principalmente por la importante diferencia entre el año horizonte de diseño de la población a proyectar (2030) y el año del censo inicial (1938), esto es, 92 años.

Se puede intentar su aplicación tomando como valor inicial un censo más reciente; sin embargo, se estaría trabajando por fuera del rango establecido por la fórmula. Por ello no se realiza su cálculo en esta aplicación.

5.2.5 Método gráfico

En el caso de San Vicente (población A en estudio) se adoptaron como poblaciones de comparación las siguientes:

- Guatapé, como municipio similar de la misma región y con características similares (población B).
- El Retiro, como municipio de la misma región pero con una población mayor (población C).
- San Pelayo, en el Departamento de Córdoba, como municipio de otra región con un número de habitantes mayor (población D).

Para todos los municipios usados como poblaciones de comparación existían estimativos previos de crecimiento de la población, así:

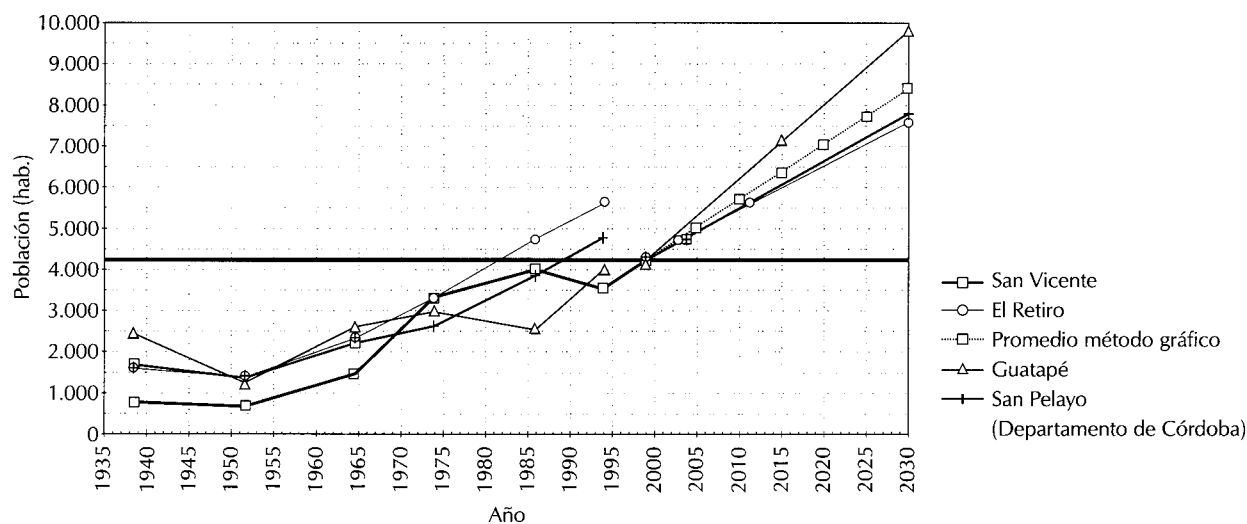
- Para Guatapé y El Retiro existen estudios de POT realizados por Masora en el año 1999.
- Para San Pelayo existen proyecciones realizadas por el Ministerio de Desarrollo Económico, dentro de un estudio del plan de obras e instalaciones del sistema de acueducto, Hidrotec Ltda., 1999.

Los resultados de la proyección de población obtenidos para San Vicente por este método –que asume que dicho municipio crecerá como el promedio de los tres municipios de referencia cuando estos tuvieron el tamaño actual de San Vicente– se presentan en la gráfica anexa e indican los siguientes valores:

TABLA 8
CRECIMIENTO PROYECTADO
PARA EL MUNICIPIO DE SAN VICENTE

Año	Población cabecera (Habitantes)
2000	4.366
2005	5.050
2010	5.720
2015	6.389
2020	7.059
2025	7.728
2030	8.397

FIGURA 2
MUNICIPIO DE SAN VICENTE – ANTIOQUIA.
PROYECCIONES DE POBLACIÓN, MÉTODO GRÁFICO



5.2.6 Definición de la población definitiva

El resumen de las proyecciones de población realizadas para el área urbana del municipio de San Vicente es el siguiente:

TABLA 9

POBLACIÓN URBANA MUNICIPIO SAN VICENTE (HABITANTES)

Año	Método			
	Aritmético	Geométrico	Exponencial	Gráfico
2000	4.285	4.347	4.403	4.366
2005	4.568	4.996	5.065	5.050
2010	4.851	5.741	5.826	5.720
2015	5.133	6.597	6.702	6.389
2020	5.417	7.582	7.709	7.059
2025	5.700	8.713	8.868	7.728
2030	5.983	10.012	10.200	8.397

El análisis de esta información permite obtener los siguientes comentarios:

- Los métodos geométrico, exponencial y gráfico dan resultados muy similares, pero producen unas tasas de crecimiento anual de la población del orden de 2,8% consideradas muy altas para San Vicente, donde las pobres condiciones socioeconómicas y de empleo no hacen prever un gran desarrollo. Además, su cercanía a Medellín y a ciudades de apreciable tamaño como Rionegro hace que algunos de sus pobladores se desplacen hacia estas poblaciones en busca de oportunidades.
- El método aritmético produce estimativos un poco bajos, con tasas de crecimiento variables entre 1,3% anual en el corto plazo y el 1% en el largo plazo. Estos valores son muy inferiores a los promedios históricos y a los promedios nacionales para municipios pequeños (el promedio es del orden del 2%).
- En este caso especial se resolvió promediar los resultados de los cuatro métodos como una posibilidad de la alternativa a elegir. Esto no quiere decir que el promedio sea siempre la solución a elegir en otros casos de aplicación.
- El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) realizado en el año 1999 efectuó estimativos de población para el corto plazo (año 2005 = 5.005 habitantes y año 2010 = 5.691 habitantes), con base en estudios demográficos, socioeconómicos y de ordenamiento urbano detallados, lo cual permite decir

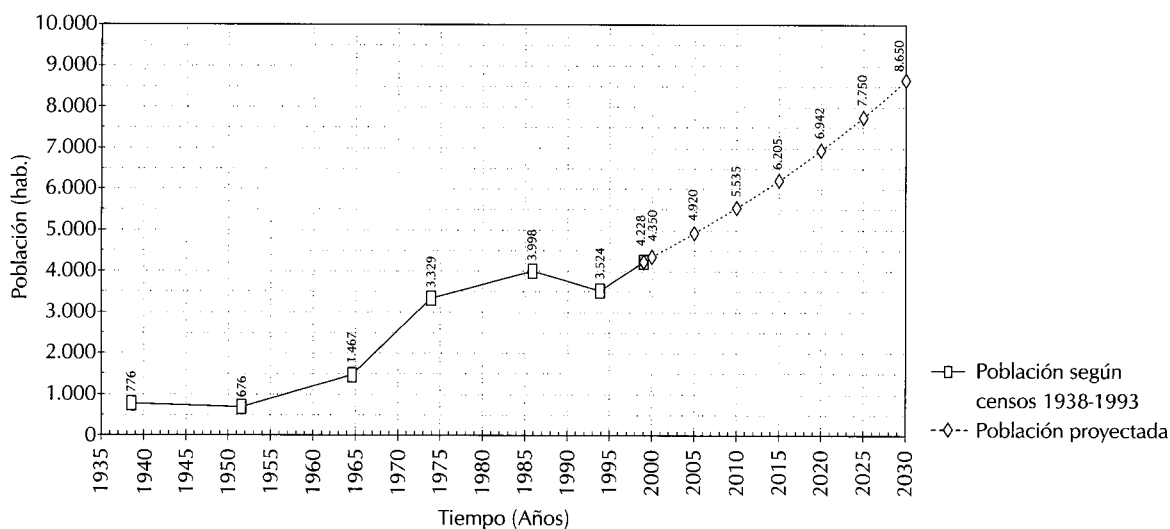
que estas proyecciones son muy confiables. Al comparar estos valores con los de la alternativa de promediar los cuatro métodos analizados, se encontró una gran similitud, por lo que se decidió tomar como población definitiva la alternativa del promedio. Así la población proyectada propuesta para el municipio de San Vicente es:

TABLA 10
POBLACIÓN PROYECTADA PROPUESTA
PARA EL MUNICIPIO DE SAN VICENTE

Año	Población (habitantes)	Tasa de crecimiento anual en el período %
2000	4.350	2.5%
2005	4.920	2.4%
2010	5.535	2.3%
2015	6.205	2.3%
2020	6.942	2.2%
2025	7.752	2.2%
2030	8.650	2.2%

Cuando se grafican estos valores de población y años se tiene lo que se llama la curva de proyección de población.

FIGURA 3
CURVA DE POBLACIÓN - MUNICIPIO DE SAN VICENTE



Es importante mencionar que la opción de proyectar con el promedio de los métodos analizados no se puede generalizar como una metodología, y que en este caso en particular se tomó por la coincidencia que presentaba con las proyecciones del POT. Adicionalmente, los valores de tasas de crecimiento anual obtenidos y su tendencia de disminuir en el largo plazo concuerdan bastante con estimativos del DANE, Planeación Nacional y Ministerio de Desarrollo Económico respecto al crecimiento promedio poblacional estimado para municipios típicos colombianos.

5.2.7 Ajustes a la población proyectada

En el caso de San Vicente no existe población flotante, más bien sucede el fenómeno contrario pues muchas de las personas que viven en el área urbana se ausentan algunos días de la semana para laborar en agricultura en la zona rural, y otros viajan todos los días a sus trabajos en Rionegro y Medellín; además, no se tienen indicios de que San Vicente sea un lugar escogido para que se establezcan desplazados por violencia de zonas cercanas.

5.2.8 Distribución espacial de la población

■ Distribución espacial de la población, año 1999

Para la distribución espacial de la población se tomó como datos base la distribución censal del número de casas y negocios que existen en el municipio de acuerdo con el estudio de estratificación realizado en noviembre de 1997.

El POT estima para la cabecera del Municipio de San Vicente una población de 4.228 habitantes en el año de 1999 y el estudio de estratificación registra 1.319 casas o viviendas residenciales y 248 inmuebles destinados a otros usos, distribuidos en un sector DANE con dos secciones (01 y 02) conformadas por 20 y 18 manzanas respectivamente.

La tabla 11 presenta la distribución espacial de la población para el año 1999.

TABLA 11
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA POBLACIÓN – AÑO 1999

Sector	Sección	Manzana	Número		%		Población hab.
			Casas	Otros usos	Casas	Otros usos	
0001	01	1	19	12	1,44	4,84	61
		2	39	12	2,86	4,84	125
		3	29	16	2,20	6,45	93
		4	17	1	1,29	0,40	55
		5	30	0	2,27	0,00	96
		6	85	25	6,44	10,08	272
		7	16	0	1,21	0,00	51
		8	30	2	2,27	0,81	96
		9	85	25	6,44	10,08	272
		12	79	20	5,99	8,06	253
		13	42	5	3,18	2,02	135
		14	78	10	5,91	4,03	250
		16	24	3	1,82	1,21	77
		17	3	9	0,23	3,63	10
		18	8	2	0,61	0,81	26
		19	2	0	0,15	0,00	6
		20	6	0	0,45	0,00	19
		21	13	1	0,99	0,40	42
		22	23	0	1,74	0,00	74
		23	15	4	1,14	1,61	48
		Subtotal Sección 01		20	643	147	48,75
0001	02	1	92	20	6,97	8,06	295
		2	32	12	2,43	4,84	103
		3	57	17	4,32	6,85	183
		4	44	7	3,34	2,82	141
		8	118	4	8,95	1,61	378
		9	34	1	2,58	0,40	109
		10	15	3	1,14	1,21	48
		17	10	1	0,76	0,40	32
		18	9	2	0,68	0,81	29
		19	9	1	0,68	0,40	29
		20	5	2	0,38	0,81	16
		21	25	18	1,90	7,26	80
		22	50	6	3,79	2,42	160
		23	77	3	5,84	1,21	247
		24	10	1	0,76	0,40	32
		25	7	1	0,53	0,40	22
		26	79	1	5,99	0,40	253
		27	3	1	0,23	0,40	10
Subtotal Sección 02		18	676	101	51,25	40,73	2167
Total		38	1.319	248	100	100	4.228

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial de San Vicente, Masora, 1999.

■ Distribución espacial de la población al año 2030

Teniendo como base la información relacionada en el cuadro anterior correspondiente a la distribución espacial de la población para el año 1999 y los planteamientos esbozados en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio especialmente con los usos permitidos del suelo, se procedió a distribuir espacialmente la población en las áreas urbanizables propuestas para mediano y largo plazo.

Si se observa el plano anexo de los usos del suelo de la zona urbana del municipio, se puede determinar que casi la totalidad de las áreas permitidas para uso en vivienda que están dentro del límite urbano propuesto por el POT, están saturadas; por tal razón, y de acuerdo con los lineamientos propuestos en este plan, se distribuyó la población según las densidades permitidas y áreas propuestas a ser urbanizadas en el mediano y largo plazo.

Para el año 2020 (horizonte de diseño) se proyecta una población de 6.942 habitantes, los cuales se espera se localicen de la siguiente manera:

- El área neta urbanizable que existe hoy en día está conformada por 8,77 Ha y permite el asentamiento de 4.228 habitantes, fijándose una densidad promedio de 482 hab/Ha, de acuerdo con los usos permitidos del suelo y con sus restricciones. Se estima conveniente, tal como se proyecta en el Plan de Ordenamiento Territorial, el utilizar nuevas áreas para localizar el crecimiento futuro de la población.
- Al sur del límite urbano el POT determina una zona para uso urbanizable en el mediano plazo, esta tiene un total de 11,98 Ha, y si se restan las áreas de espacio público tales como zonas de ronda, manejo y preservación ambiental, vías, infraestructura y zonas de sección estimadas en un 25% del área bruta, se dispone de una zona neta de 8,99 Ha a ser urbanizable, las cuales podrán ser densificadas hasta un valor de 150 hab/Ha de acuerdo con la reglamentación existente.

Para efectos del estudio esta zona se subdividió en siete áreas según los accidentes físicos y geográficos los cuales fueron denominadas del M1 al M6. La sumatoria de estas permite el ordenamiento y crecimiento de 1.348 habitantes en el mediano plazo (año 2010), lográndose con esto dar cabida a un total de 5.576 habitantes, suficiente para la población proyectada a ese año (5.535 habitantes).

- A largo plazo (año 2020) el POT destina como área urbanizable 22,14 Ha brutas localizadas al suroriente de la población y 0,85 Ha al norte como área para vivienda de interés social, para un total de 23,0 Ha con uso permitido en vivienda (áreas denominadas L2 a L13 y L19).

Con la misma metodología utilizada para las zonas de mediano plazo, se dispone de un área neta de 19,76 Ha que permiten distribuir espacialmente una población de 1.366 habitantes, lográndose un total de 6.942 habitantes en áreas actuales, de mediano y largo plazo.

TABLA 12
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA POBLACIÓN - AÑO 2020

Sector	Zona/Sección	Área bruta urbanizable Ha	Área neta urbanizable Ha	Densidad hab/Ha	Población hab.
Áreas actuales					
0001	01	17,86	4,13	499,03	2061
0002	02	37,09	4,64	467,03	2167
Subtotal		17,86	8,77	482,10	4228
Mediano plazo	M1	0,95	0,71	150,00	107
(POT)	M2	1,87	1,40	150,00	210
	M3	4,57	3,43	150,00	514
	M4	0,72	0,54	150,00	81
	M5	3,02	2,27	150,00	340
	M6	0,85	0,64	150,00	96
Subtotal		11,98	8,99		1348
Largo plazo	L1	0,96	0,72	66,60	48
(POT)	L2	2,20	1,65	66,60	110
	L3	0,24	0,18	66,60	12
	L4	1,36	1,02	66,60	68
	L5	2,13	1,60	66,60	107
	L6	2,52	1,89	66,60	126
	L7	1,85	1,39	66,60	92
	L8	2,12	1,59	66,60	106
	L9	6,19	4,64	66,60	309
	L10	1,40	1,05	66,60	70
	L11	0,81	0,61	66,60	40
	L12	0,36	0,27	66,60	18
	L13	0,85	0,64	66,60	44
Subtotal		22,99	16,52		1150
Largo plazo adicional (POT) L19		4,32	3,24	66,60	216
Total		57,15	37,5	220,00	6942

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial (POT)- Municipio de San Vicente, Masora, 1999.

En el plano se presenta la distribución espacial de la población de acuerdo con las zonas actuales, de mediano y largo plazo previstas para la futura expansión del municipio.

TABLA 13**RESUMEN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA POBLACIÓN
POR ÁREAS URBANIZABLES Y POR QUINQUENIOS**

Área	Año					
	1999	2000	2005	2010	2015	2020
Actual	4228	4228	4228	4228	42228	4228
Mediano plazo (POT)		122	692	1307	1348	1348
Largo plazo (POT)					629	1150
Largo plazo (adicional)						216
Total	4228	4350	4920	5535	6205	6942

5.3 DEFINICIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD**5.3.1 Nivel de complejidad según la población**

De acuerdo con lo establecido en el numeral 1.2.1, “Definición del período de diseño”, en planeamiento y diseños detallados de sistemas de acueducto y alcantarillado se pueden tener períodos de diseño entre 15 y 30 años, dependiendo del nivel de complejidad del sistema. Como este aún no se conoce es necesario definir para el municipio de San Vicente las proyecciones de población para horizontes de diseño entre 15 y 30 años a partir del año actual; esto es, para los años 2015, 2020, 2025, 2030, y clasificar estos valores de población dentro de la tabla A.3.1 del RAS. Así, se producen los siguientes resultados:

TABLA 14**PROYECCIONES DE POBLACIÓN PARA HORIZONTES DE DISEÑO**

Período de diseño	Año de horizonte	Población proyectada (hab.)	Nivel de complejidad del sistema
15 años	2015	6,205	Medio
20 años	2020	6,942	Medio
25 años	2025	7,752	Medio
30 años	2030	8,650	Medio

Como se aprecia para cualquier condición de período de diseño, el nivel de complejidad es el mismo, por lo cual se puede afirmar que de acuerdo con el RAS, el área urbana del municipio de San Vicente, desde el punto de vista de su población proyectada a los diferentes períodos de diseño, presenta un nivel de complejidad “medio”.

5.3.2 Nivel de complejidad según la capacidad económica de los usuarios

Al revisar la información básica se tiene que de acuerdo con la estratificación socioeconómica de las viviendas que posee el municipio, el 43,6% de las viviendas están en los estratos 1 y 2, y el 56,4% en los estratos 3 y 4. Si se analiza la estratificación que utiliza el servicio de acueducto y alcantarillado para su facturación se encuentra que el 37,7% está en estratos 1 y 2, y el 50% entre los estratos 3 y 4. Lo anterior lleva a concluir que los estratos 3 y 4 son los predominantes y, según lo establecido en el numeral 1.3 “Caracterización económica de la población”, la capacidad económica del municipio de San Vicente es “media”, lo que daría un nivel de complejidad “medio alto”.

Sin embargo, por el hecho de que el nivel de ingresos es “muy bajo” (el 85% de la población tiene ingresos menores a \$100.000) y teniendo en cuenta que los indicadores de NBI indican que un 28% de la población vive en condiciones de pobreza general, se propone que el municipio de San Vicente sea catalogado como de capacidad económica baja y que tenga por este concepto un nivel de complejidad “medio”.

5.3.3 Asignación del nivel de complejidad del sistema

Desde el punto de vista de la población, para cualquier período de diseño se tiene un nivel de complejidad medio. De la evaluación de la capacidad económica de los usuarios se tiene un nivel de complejidad medio o medio alto, según la metodología que se adopte (estratificación vs. nivel de ingresos y NBI).

Por tanto, se propone para el área urbana del municipio de San Vicente asignar un *nivel de complejidad medio* para los estudios y diseños de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. Es decir, se asume que prima el criterio de la población sobre el de la capacidad económica.

5.4 EVALUACIÓN DE LAS DOTACIONES DE AGUA

5.4.1 Dotaciones netas

La mejor manera de estimar la dotación neta aproximada para un municipio en particular es a partir de mediciones de volúmenes de agua consumidos por los usuarios de los diferentes usos que esta tiene dentro del sistema de acueducto.

Como se mencionó en la información básica (numeral 5.1) en San Vicente se logró definir a partir de la facturación el consumo promedio mensual para los diferentes usos de agua; estos valores son:

TABLA 15
CONSUMO PROMEDIO MENSUAL
PARA LOS DIFERENTES USOS DEL AGUA

Uso	Consumo medio (Facturación)	
	m ³ /suscriptor/mes	Equivalencia *
Residencial	9,8	104 litros por habitante por día (L-H-D)
Comercial	10,8	360 litros por establecimiento por día (L-E-D)
Oficial	62,3	2.077 litros por establecimiento por día (L-E-D)

*De acuerdo con la información básica el número actual de habitantes por vivienda es de 3,14 (4.228 hab./1345 viv.).

El valor de 104 L-H-D está por debajo del recomendado por el RAS para el nivel de complejidad medio que es de 120 L-H-D. Esto se da porque los valores corresponden a la facturación tal como la maneja el municipio actualmente, y en ella existe una submedición importante ya que de los 1.516 suscriptores existen 441 cuyos medidores registran consumos mensuales menores a 3 m³/mes/suscriptor, valores altamente sospechosos, y de estos 441 suscriptores, 223 registran un consumo nulo. Lo anterior indica probable daño en este número de micromedidores.

Si del cálculo de los consumos medios se extrajeran estos 441 suscriptores, se tendría una mejor medida de los consumos reales, los cuales serían:

TABLA 16
CONSUMOS REALES

Uso	Consumo medio ajustado	
	m ³ /suscriptor/mes	Equivalencia *
Residencial	13,57	144 L-H-D
Comercial	15,73	524 L-E-D
Oficial	69,54	2.318 L-E-D

Estos son los valores adoptados como dotaciones netas actuales. En lo que se refiere al uso residencial, el valor de 144 L-H-D está dentro del rango especificado por el RAS (120 a 175 L-H-D), y se ha calculado ponderando los consumos de los diferentes estratos.

Ya que la temperatura media de San Vicente es de 17°C no existe ajuste de la dotación neta por efecto del clima y como también existe una buena cobertura de alcantarillado (77%) tampoco se debe revisar la dotación neta por este concepto.

5.4.2 Evaluación de pérdidas en el sistema

Como se conoce el volumen mensual promedio de producción de agua tratada y el volumen mensual medio facturado a los usuarios, la evaluación del porcentaje de pérdidas de agua (físicas y comerciales) del sistema es real. Este valor es:

$$\%P = \frac{26.957 \text{ m}^3/\text{mes} - 16.062 \text{ m}^3/\text{mes}}{26.957 \text{ m}^3/\text{mes}} = 0,404$$

El sistema de acueducto de San Vicente presenta en la actualidad un porcentaje de pérdidas del 40%, esto quiere decir que de 1 m³ de agua tratada producido por la planta de tratamiento, en promedio sólo 0,60 m³ se factura a los usuarios (1 m³ - 0,40 x 1 m³), mientras 0,40 m³ (el 40%) se pierde ya sea en pérdidas físicas (fugas en la red) y/o en pérdidas comerciales (submedición).

Si se quisiera estimar aproximadamente qué porcentaje de estas pérdidas son físicas y qué porcentaje son comerciales se podría recalcular el %P con los consumos ajustados. En este caso, al eliminar la submedición se tendría un volumen de facturación (hipotético) de 22.215 m³/mes y el %P sería el debido a las pérdidas físicas únicamente:

$$\%P = \frac{26.957 - 22.215}{26.957} = 0,176$$

Si se acepta lo anterior, se tendría que del 40,4% de pérdidas totales del sistema de acueducto, aproximadamente 17,6% corresponde a pérdidas físicas y el restante 22,8% a pérdidas comerciales originadas por deficiencias en la micromedición. Estos valores serían indicativos de un buen estado físico en la red de distribución, pues el porcentaje de fugas es razonable; además, se ve bastante probable en el corto plazo reducir en forma apreciable el porcentaje de pérdidas totales ya que al implementar un programa de reposición y mantenimiento de los micromedidores este %P se reduciría de 40,4% a cerca del 18%.

Las pérdidas actuales del municipio de San Vicente (40,4%) superan los valores máximos estipulados por el RAS (30%, del nivel de complejidad medio) y por la CRA (25%) por lo cual deben plantearse programas de reducción de pérdidas para pasar de los valores actuales a los requeridos.

De acuerdo con el diagnóstico realizado sobre el origen de las pérdidas de agua se propone el siguiente plan de reducción de las mismas para lograr las metas requeridas:

TABLA 17
PLAN DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS

Año	Índice de pérdidas (%)
2000	40,4
2005	40,0
2010	35,0
2015	30,0
2020	27,0
2025	25,0
2030	25,0

Se cree que en diez años se puede lograr una importante reducción por el hecho de que un alto porcentaje de las pérdidas actuales corresponde a pérdidas comerciales por submedición de los consumos, lo que es remediable con la implementación de un programa de renovación y mantenimiento de micromedidores.

5.4.3 Dotaciones brutas actuales

■ Dotación bruta residencial

$$dbruta = \frac{104}{1 - 0,404} = 174,5 L - H - D$$

Equivale a utilizar 144 L-H-D y un 17.6% de pérdidas.

■ Dotación bruta comercial

$$dbruta = \frac{360}{1 - 0,404} = 604 L - E - D$$

Equivale a utilizar 524 L-E-D y un 17.6% de pérdidas.

■ Dotación bruta oficial

$$dbruta = \frac{2.077}{1 - 0,404} = 3.485 L - E - D$$

Equivale a utilizar 2.318 L-E-D y un 17.6% de pérdidas.

Si se quisiera tener una dotación bruta por todo concepto que incluyera los usos residencial, comercial y oficial, para ser aplicable al total de los habitantes, se tendría para la condición actual:

$$dneta = \frac{\text{Volumen facturado}}{\text{Número habitantes servidos}} = \frac{16,062 \text{ m}^3 / \text{mes}}{1.329 \text{ suscriptores residenciales}}$$

$$dneta = 12.09 \text{ m}^3 \text{ suscriptores/mes} = 128 \text{ L} - \text{H} - \text{D}$$

$$dbruta = \frac{128}{1 - 0,404} = 215 \text{ L} - \text{H} - \text{D}$$

(Dotación bruta integrada – condición actual)

5.4.4 Dotaciones brutas futuras

Para el cálculo de las dotaciones brutas futuras lo usual es mantener las dotaciones netas actuales, si se estima que estas son adecuadas y representativas, e ir variando el índice de pérdidas, según el plan previsto.

En el caso analizado, por efecto en la submedición de consumos la dotación neta residencial actual muestra un valor muy bajo (104 L-H-D); en la medida que se efectúe la renovación de micromedidores (próximos diez años) las lecturas de consumo deben tender a los valores reales, por lo que la dotación neta residencial podría alcanzar un valor cercano a los 144 L-H-D (ver numeral 5.4.1, dotaciones netas con consumos ajustados). Lo mismo sucede con las dotaciones netas comercial y oficial. Se propone que se adopten estos nuevos valores a partir del año 2010, donde se prevé, con criterio conservador, se habrán reemplazado todos los micromedidores. Para el año 2005 se pueden tomar valores intermedios.

Con los anteriores supuestos las dotaciones brutas futuras serán las siguientes:

TABLA 18
DOTACIONES BRUTAS FUTURAS

Año	Índice pérdidas (P)	Dotación residencial (L-H-D)		Dotación comercial (L-E-D)		Dotación oficial (L-E-D)		Dotaciones integradas (L-H-D)	
		Neta	Bruta	Neta	Bruta	Neta	Bruta	Netas	Brutas
2000	40	104	173	360	600	2.077	3.462	128	213
2005	35	124	191	442	680	2.168	3.335	153	235
2010	30	144	205	524	749	2.318	3.311	177	253
2015	27	144	297	524	718	2.318	3.175	177	242
2020-2030	25	144	192	524	699	2.318	3.091	177	236

5.5 CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA

5.5.1 Demanda de agua actual

La demanda media total de agua (Q_{md}) es la suma de la demanda media residencial (Q_{mr}) más la demanda de otros usos (Q_{ou}).

■ Demanda media residencial

La población servida se obtuvo de multiplicar el número de suscriptores residenciales

$$Q_{mr} = \frac{\text{Población servida} * d_{bruta}}{86.400} = \frac{4.173 * 174,5 (L - H - D)}{86.400}$$

$$Q_{mr} = 8,43 \text{ l/s}$$

(1.329) por 3,14 hab./viv. (ver numeral 5.4.1)

La cobertura actual del servicio de acueducto es del 98,7%.

■ Demanda media otros usos (Q_{ou})

$$Q_{ou} = Q_{comercial} + Q_{oficial}$$

$$Q_{ou} = \frac{168 \text{ establecimientos} * 604 (L - E - D)}{86.400} + \frac{19 \text{ est.} * 3.485 (L - E - D)}{86.400}$$

$$Q_{ou} = 1,17 + 0,77 = 1,94 \text{ l / s}$$

■ Demanda media total

$$Q_{md} = Q_{mr} + Q_{ou} = 8,43 + 1,94 = 10,37 \text{ l/s}$$

En la actualidad, la demanda media de agua tratada para el municipio de San Vicente con la cobertura del 98,7% es de 10,4 l/s que equivale a 900 m³/día y a cerca de 27.000 m³/mes.

5.5.2 Proyección de la demanda de agua

Para estimar la demanda futura de agua es necesario proyectar la demanda residencial y la demanda de los otros usos. Con la primera no hay dificultad pues se tienen estimativos de crecimiento de la población hasta el año 2030, y únicamente sería necesario definir cómo se espera que evolucione el porcentaje de pérdidas de agua hacia el futuro para poder predecir las dotaciones brutas. Sin embargo, la estimación de cómo sería la demanda de agua por otros usos no se tiene y en este momento debe hacerse con algún criterio. Se proponen dos formas que al final producen resultados similares.

5.5.2.1 Proyección de la demanda con una dotación bruta integrada

Se estima una dotación bruta por todo concepto, que incluye la dotación residencial más una dotación por los otros usos; esta última se obtiene dividiendo la demanda de los otros usos entre los usuarios residenciales. De esta manera, la dotación bruta integrada incluye el consumo residencial más una contribución de los usuarios a los otros usos.

El cálculo de la demanda futura total se hace multiplicando la población servida por esta dotación bruta integrada proyectada al futuro (numeral 5.4.4), y produce los siguientes resultados.

TABLA 19
CÁLCULO DE LA DEMANDA FUTURA TOTAL

Año	Población* servida (hab.)	Dotación bruta integrada (L-H-D)	Demanda Total (l/s)
2000	4.350	213	10,7
2005	4.920	235	13,4
2010	5.535	253	16,2
2015	6.205	242	17,4
2020	6.942	236	19,0
2025	7.752	236	21,2
2030	8.650	236	23,6

* Como la cobertura actual del acueducto es de 98,7%, para las proyecciones se asumió una cobertura total (100%) por tanto la población servida es la población proyectada.

5.5.2.2 Proyección de la demanda en forma separada por diferentes usos

En este caso es necesario definir cómo se incrementan en el tiempo el número de usuarios de los otros usos. Para esta evaluación, en este caso en particular se supuso que los otros usos (comercial y oficial) crecerían en forma proporcional a la población pues al fin y al cabo estos usos existen para atender a la población. Los resultados son:

■ Dotación residencial

TABLA 20
DOTACIÓN RESIDENCIAL

Año	Población* servida (hab.)	Dotación bruta residencial (L-H-D)	Demanda residencial (l/s)
2000	4,350	173	8.71
2005	4,920	191	10.88
2010	5,535	205	13.13
2015	6,205	197	14.15
2020	6,942	192	15.43
2025	7,752	192	17.23
2030	8,650	192	19.22

■ Dotación comercial

TABLA 21
DOTACIÓN COMERCIAL

Año	Número de establec.*	Dotación bruta comercial (L-E-D)	Demanda comercial (l/s)
1999	168	604	1.17
2000	177	600	1.23
2005	222	680	1.75
2010	267	749	2.31
2015	312	718	2.60
2020	357	699	2.90
2025	402	699	3.25
2030	447	699	3.62

* Se asumió un crecimiento anual similar a la tasa de crecimiento de la población (numeral 5.2.6).

■ Dotación oficial

TABLA 22
DOTACIÓN OFICIAL

Año	Número de establec.*	Dotación bruta oficial (L-E-D)	Demanda oficial (l/s)
1999	19	3.485	0,77
2000	20	3.462	0,80
2005	24	3.335	0,92
2010	28	3.311	1,07
2015	33	3.175	1,21
2020	37	3.091	1,38
2025	41	3.091	1,47
2030	45	3.091	1,60

* Se asumió un crecimiento anual similar a la población.

■ Demanda total definida

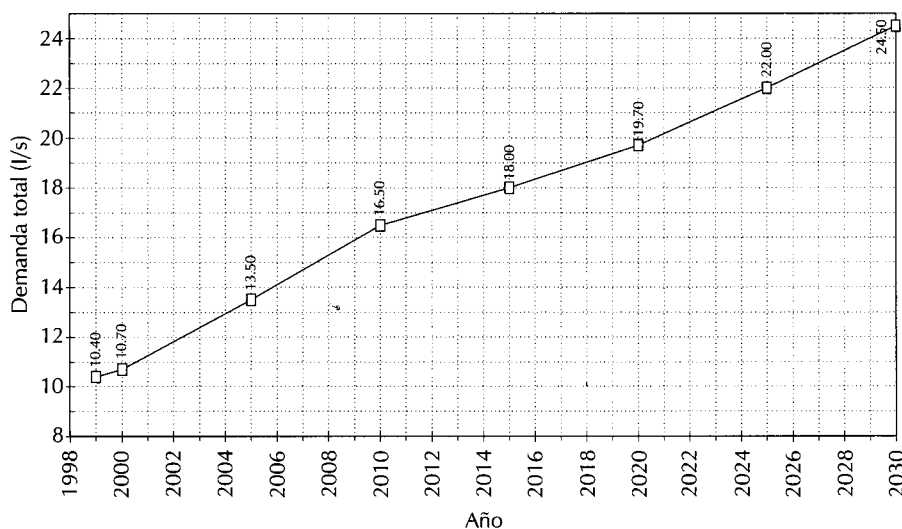
TABLA 23
DEMANDA TOTAL DEFINIDA

Año	Demanda l/s			Total
	Residencial	Comercial	Oficial	
2000	8.71	1.23	0.80	10.70
2005	10.88	1.75	0.92	13.50
2010	13.13	2.31	1.07	16.50
2015	14.15	2.60	1.21	18.00
2020	15.43	2.90	1.38	19.70
2025	17.23	3.25	1.47	22.00
2030	19.22	3.62	1.60	24.50

Se aprecia que los resultados son similares al primer método. Para los cálculos posteriores se asume la anterior proyección de demanda de agua. A continuación se presenta en forma gráfica esta tabla que es conocida como la curva de proyección de la demanda de agua.

Este documento es propiedad del
MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE
Centro de Documentación

FIGURA 4
CURVA DE PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA



5.5.3 Distribución espacial de la demanda futura

Con la distribución espacial de la población y la definición de dotaciones brutas integradas para cada uno de los quinquenios, se procede a determinar la demanda de agua para cada área o zona urbanizable del municipio de acuerdo con las previsiones de expansión definidas en el POT; como ejemplo se presenta el cálculo de la distribución espacial de la demanda de agua para el año 2020. La dotación bruta integrada que se usó es de 236 L-H-D. (Tabla 24)

5.5.4 Variaciones de la demanda

5.5.4.1 Demanda máxima diaria (QMD)

En el sistema de acueducto de San Vicente no se tiene un registro confiable (larga duración) de caudales diarios consumidos por la población a lo largo de un año, razón por la cual el coeficiente de consumo máximo diario ($K1$) no puede ser calculado con certeza a partir de la información disponible.

El registro de caudales medios diarios de agua tratada que existe en la planta de tratamiento sólo tiene datos de unos tres meses y no puede ser usado confiablemente para calcular el $K1$, ya que este caudal va al tanque de almacenamiento antes de ir a la red y por ese hecho el valor que se obtendría está amortiguado o atenuado por el volumen de compensación del tanque. De todas maneras, dicho valor se calculó relacionando el

Tabla 24
Distribución espacial de la demanda al año 2020

Sector	Zona/Sección	Población hab.	Demanda l/s
Áreas actuales			
0001	01	2061	5,63
	02	2167	5,92
Subtotal		4.228	11,55
Mediano plazo (POT)			
	M1	107	0,29
	M2	210	0,57
	M3	514	1,40
	M4	81	0,22
	M5	340	0,93
	M6	96	0,26
Subtotal		1.348	3,67
Largo plazo (POT)			
	L1	48	0,16
	L2	110	0,39
	L3	12	0,04
	L4	68	0,24
	L5	107	0,37
	L6	126	0,45
	L7	92	0,32
	L8	106	0,37
	L9	309	1,10
	L10	70	0,24
	L11	40	0,15
	L12	18	0,07
	L13	44	0,14
Subtotal		1.150	4,04
Largo plazo adicional			
	L19	216	0,44
Total		6.942	19,7

mayor valor de los 90 días de registro (12.5 l/s) con el promedio de los 90 días (10,4 l/s) y se obtuvo un valor $K1 = 1,20$ que indicaría que el día de máxima demanda en el año sólo supera en un 20% el caudal estimado de demanda media. Como esta complejidad no es confiable se recurre a asumir un valor de $K1$ recomendado por el RAS.

Para un nivel de complejidad medio como el de San Vicente, el coeficiente de demanda máxima diaria es de 1,30 por lo cual la demanda máxima diaria en cualquier año futuro se estima como:

$$QMD = 1,30 * Qmd$$

donde:

Qmd = Demanda media diaria

En la figura 5 se muestra la variación de la QMD (demanda máxima diaria) a lo largo de los diferentes períodos de diseño.

5.5.4.2 Demanda máxima horaria (QMH)

De la curva de variación horaria de la demanda medida en la red de distribución (información básica presentada en el numeral 5.1) se calcula la relación entre el caudal máximo horario respecto al caudal medio en un período de 24 horas, este valor es 1,8, entonces:

$$QMH = 1,8 * Qmd$$

Para el cálculo de $K2$ se tiene:

$$K2 = \frac{QMH}{QMD} = 1,5$$

Usando $QMH = 1,8 * Qmd$ y $QMD = 1,20 * Qmd$, que son los valores medidos.

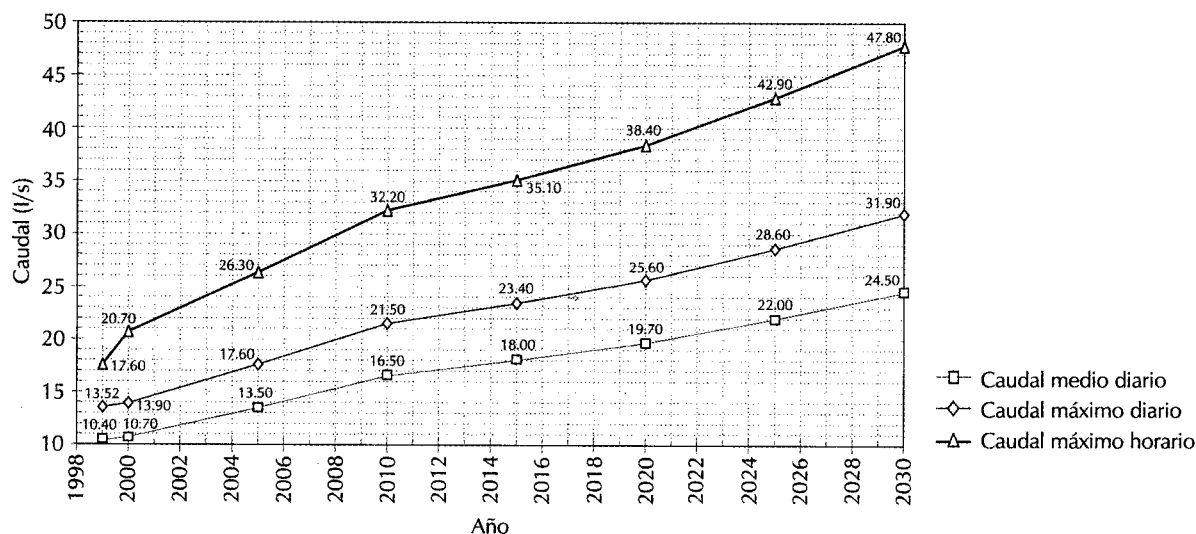
Como en el anterior numeral se determinó ajustar el valor de $K1$ a 1,30, se podría también ajustar la forma de calcular el caudal máximo horario (QMH), así:

$$QMH = K1 * K2 * Qmd$$

$$QMH = 1,3 * 1,5 * Qmd = 1,95 Qmd$$

Este es el valor recomendado para ser usado en la planeación y el diseño de las redes de distribución del sistema de acueducto. Este valor es mayor al registrado ($1,80 * Qmd$), pero como los registros de caudales máximos diarios son de corta duración (90 días) se considera que el valor propuesto de 1,95 proporciona una mayor seguridad a la vez que está dentro de los límites permitidos por el RAS para este nivel de complejidad.

En la figura 5 se presentan los valores de Qmd , QMD y QMH , quinquenio a quinquenio hasta el año 2030.

FIGURA 5**VALORES DE Qmd, QMD Y QMH, QUINQUENIO A QUINQUENIO HASTA EL AÑO 2030**

BIBLIOGRAFÍA

Anuario estadístico subregional – Altiplano oriente antioqueño: Proyecciones de población por municipios (1999-2010), Masora, 1997.

Componente institucional del ente prestador de los servicios de acueducto y alcantarillado del casco urbano del municipio de San Vicente, Ing. Beatriz Zuluaga Ramírez, 1997.

Estudio de estratificación urbana del municipio de San Vicente, Ing. Consuelo de la Cruz, noviembre de 1997.

Estudios y diseños del Plan Maestro de Saneamiento, Acueducto y Alcantarillado de la zona urbana del municipio de San Vicente, Corporación Autónoma Regional Rionegro-Nare (Cornare), febrero de 2000.

Estudios y diseños para la rehabilitación y optimización del acueducto del municipio de San Vicente, Ing. Rodrigo Betancur Mazorra, 1978.

Plan de ordenamiento territorial del municipio de San Vicente, Masora, 1999.

Planes de gestión y resultados años 1999 y 1998, Secretaría de Servicios Públicos de San Vicente.

Plan maestro de acueducto y alcantarillado del municipio de San Vicente, Antioquia, Cornare - Hidrotec, 1999.

Resolución 04 de junio 9 de 1994, Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), por la cual se establecen los niveles máximos de consumos básicos de agua potable en Colombia.

