



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

C-6

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS INSTITUCIONALES

DIPLOMADO EN USO EFICIENTE DEL AGUA EN CIUDADES

MOD. II DEMANDA DE AGUA POTABLE EN
CIUDADES

Del 31 de agosto al 08 de septiembre de 2001

APUNTES GENERALES

Ing. Enrique Cesar Valdés
Comisión Nacional del Agua
Agosto – septiembre /2001

Unidad 1

Descripción general de los sistemas

Los servicios de agua potable y de alcantarillado son esenciales para el pleno desarrollo del hombre como individuo y como parte integrante de la sociedad. Todas las personas, cualesquiera que sean sus condiciones socioeconómicas, deberían tener acceso a servicios de esta índole cualitativa y cuantitativamente adecuados a sus necesidades básicas.

En la actualidad los problemas de abastecimiento de agua y de evacuación de excretas y residuales líquidos en los países con bajo nivel de desarrollo están determinados por una situación que debe ser analizada desde los siguientes aspectos:

- Insuficiente cobertura de los servicios.
- Mala calidad del agua de consumo.
- • Deficiente control sanitarios de los sistemas.
- Incorrecta operación y mantenimiento.
- Legislación sanitaria inadecuada.
- Poca cultura sanitaria de la población.

La deficiente cobertura de los servicios de abastecimiento de agua y evacuación de aguas residuales en los países poco desarrollados está agravada por la baja calidad del agua suministrada a la población. La insuficiencia de los sistemas de alcantarillado y la falta de tratamiento de las aguas residuales antes de su disposición final producen contaminación del agua de consumo. La operación deficiente de las plantas de potabilización de agua, de las plantas de tratamiento de aguas residuales y de las instalaciones que componen los sistemas, contribuyen al deterioro de la calidad del agua para consumo humano.

La contaminación químico-tóxica del agua en regiones con desarrollo industrial acelerado, puede ser uno de los problemas más importantes a enfrentar en los próximos años.

Esta situación repercute en el estado de salud de la población. Así se advierte que en los países y regiones más atrasados sanitariamente hay una gran incidencia de enfermedades por contaminación biológica del agua para consumo, mientras que en los países desarrollados se presentan a menudo alteraciones de la salud por contaminación química, que van desde las intoxicaciones agudas hasta afectaciones a más largo plazo: efectos mutagénicos, teratogénicos y carcinogénicos.

Entre las principales actividades de promoción de salud y medidas de prevención y control se mencionan las siguientes:

- Definición de la política gubernamental al respecto.
- Dotación de servicios de saneamiento básico: sistemas de abastecimiento de agua, sistemas de alcantarillado y sistemas de evacuación de desechos sólidos.
- Medidas legislativas y control de su cumplimiento.
- Educación sanitaria de la comunidad y de grupos específicos de población.
- Atención primaria de salud de alta calidad científico-técnica, con concepto integral de sus funciones.

El propósito de esta Unidad es presentar una descripción general de los elementos de promoción de la salud y medidas de prevención y control que ~~son responsabilidad~~ de la ingeniería civil.

↳ corresponden al campo de acción

Efectos mutagénicos: cambio brusco y hereditario que aparece en el fenotipo de los seres vivos y ocasiona una nueva especie.
Alteración producida en la estructura o en el número de los genes o de los cromosomas de un organismo que se transmiten a los descendientes.

Efectos teratogénicos: anomalías y las monstruosidades del organismo animal o vegetal.

Capítulo 1

El sistema hidráulico urbano

El enfoque de sistemas utilizado en ingeniería consiste en estudiar las partes interrelacionadas de un todo y los efectos de una parte en otra. En los sistemas ambientales es difícil identificar todas las partes interrelacionadas o tratar de establecer los efectos de unas sobre otras. Lo primero que hace un ingeniero civil del área de sistemas es simplificar el sistema para que tenga un tamaño manejable y comportamiento similar al del sistema real. El modelo simplificado no se comporta en detalle como el sistema, pero proporciona una buena aproximación. En este texto se adoptará este patrón de simplificación para estudiar un sistema ambiental: el *sistema hidráulico urbano*, que permite el manejo de la cantidad y calidad del agua usada para beneficio humano sin afectar su disponibilidad y pureza.

1.1 El subsistema de abastecimiento de agua

En general, la naturaleza de la fuente determina la planeación, diseño y operación de las obras de captación, potabilización, conducción y distribución. Las dos fuentes principales para satisfacer las necesidades de la comunidad y de la industria son las *aguas superficiales* y las *aguas subterráneas*. Los ríos y lagos constituyen las aguas superficiales y aquellas bombeadas de pozos son las subterráneas.

La Figura 1.1 ilustra un sistema que sirve a una localidad. En cada caso, el tipo de fuente determina la obra de captación y el tipo de obras para la potabilización del agua. La cuadrícula representa la red de distribución de la localidad. En las tuberías de la red el agua debe tener una presión de entre 200 y 800 kilopascales (kPa). El agua excedente producida en la planta potabilizadora durante periodos de demanda reducida (comúnmente durante la noche), se acumula en depósitos denominados tanques de regularización. El tanque de regularización puede estar elevado sobre el nivel del terreno, instalado sobre una torre, o puede estar directamente sobre el terreno. El agua acumulada se emplea para satisfacer las necesidades de los usuarios en las horas de mayor demanda. El tanque de regularización permite compensar los cambios en la demanda y que la planta potabilizadora por construir sea del menor tamaño posible. Este elemento del sistema también puede usarse para atender emergencias como es el caso de incendios.

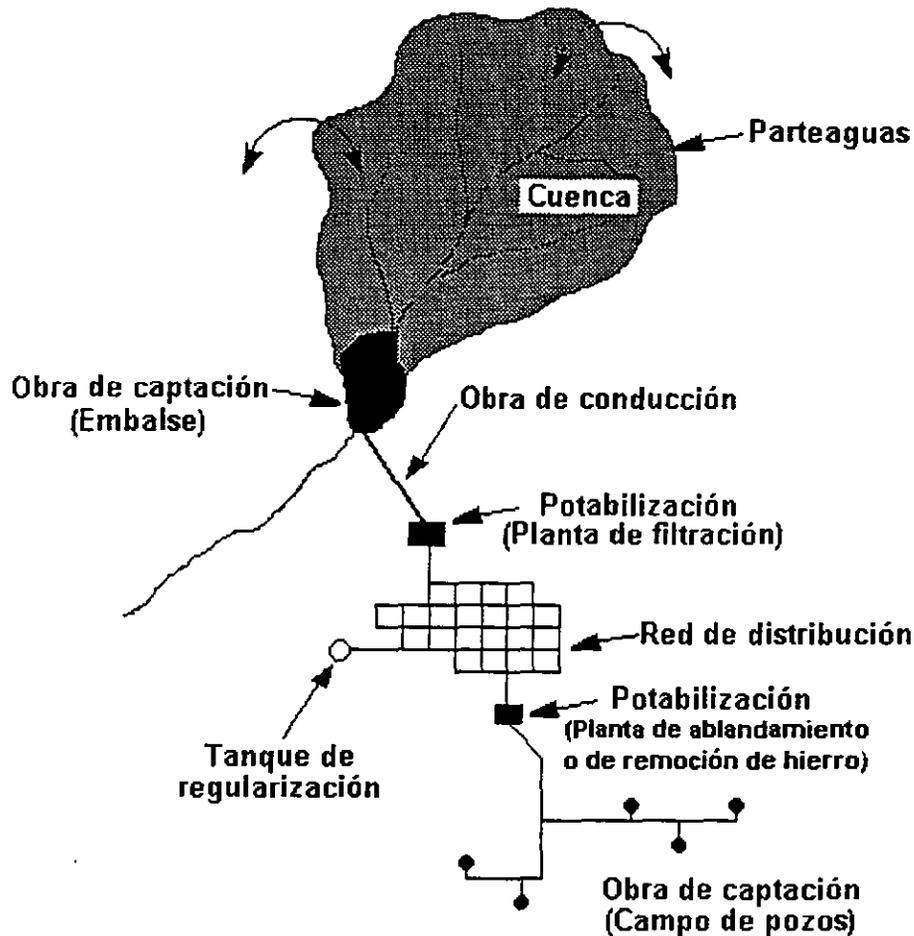


Figura 1.1. Una extensión del sistema de abastecimiento de agua potable

1.2 El subsistema de manejo y disposición de aguas residuales

Para proteger la salud pública es necesario disponer de forma segura los desechos de humanos. Para lograr resultados satisfactorios, los desechos de humanos deben disponerse de manera que:

- No contaminen ningún suministro de agua potable.
- No incrementen el peligro a la salud pública al ser accesibles a insectos¹, roedores u otros focos de infección que puedan entrar en contacto con alimentos o agua para consumo humano.
- No incrementen el peligro a la salud pública al ser accesibles a los niños.
- No violen leyes, reglamentos o normas oficiales mexicanas en materia de contaminación del agua o disposición de desechos.
- No contaminen el agua de playas, pesquerías o ríos usados para el suministro de agua

¹Desde el punto de vista de la epidemiología se denomina *foco* al huésped donde residen los agentes patógenos, *fuentes de infección* al sitio en donde se halla el foco, *portador* al ser humano que puede transmitir una enfermedad, *vector* a los insectos cuando éstos constituyen un foco de infección, *fomite* a los objetos que constituyen un foco de infección y *vehículo* a los alimentos cuando éstos constituyen un foco de infección.

potable o para fines recreativos.

- No causen molestia debido a su olor o apariencia desagradable.

La mejor forma de cumplir con estos criterios es descargando las aguas residuales en un sistema público de alcantarillado. Donde esto no sea posible, el método de disposición en sitio es el adecuado.

En su forma más simple, el subsistema de manejo y disposición de aguas residuales está integrado por seis elementos, como se muestra en la Figura 2.2. La fuente de agua residual puede ser industrial, municipal o de ambos tipos. El agua residual industrial puede someterse a pretratamiento en sitio, si tiene potencial para alterar el funcionamiento de la planta municipal de tratamiento de aguas residuales.

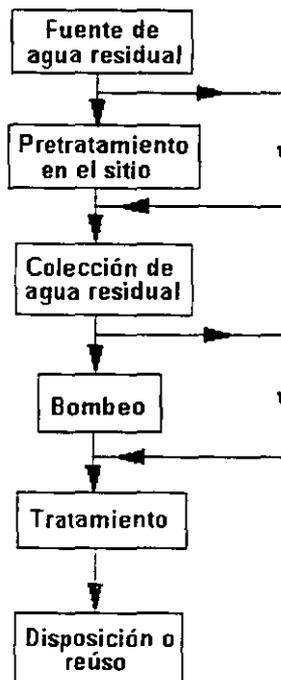


Figura 1.2. Subsistema de manejo de aguas residuales

Los alcantarillados se clasifican en tres categorías: sanitario, pluvial y combinado. Los *alcantarillados sanitarios* se diseñan para coleccionar y conducir el agua residual municipal de los edificios habitacionales y establecimientos comerciales. Con pretratamiento apropiado, las aguas residuales industriales también pueden descargarse en ellos. Los *alcantarillados pluviales* se diseñan para manejar el exceso de agua pluvial evitando la inundación de áreas bajas. Mientras que los alcantarillados sanitarios conducen las aguas residuales a plantas de tratamiento, los alcantarillados pluviales descargan generalmente en ríos. Los *alcantarillados combinados* reciben tanto aguas residuales municipales como pluviales. Estos sistemas se diseñan de manera que durante la estación seca las aguas residuales se conduzcan a la planta de tratamiento. Durante el tiempo de lluvias, el exceso de agua se descarga directamente en un río o lago sin tratamiento. Desafortunadamente, el agua pluvial se mezcla con agua residual no tratada. La práctica moderna de diseño desalienta la construcción de alcantarillados combinados y con el fin de

mejorar la calidad del agua de los cuerpos receptores de nuestro país, se requiere el reemplazo extensivo de alcantarillados combinados por sistemas separados para agua residual y pluvial.

Mientras que en la red de distribución el agua potable se conduce a presión, la red de alcantarillado opera a gravedad. Cuando no es posible el flujo a gravedad o cuando para ello se requerirían zanjas muy profundas y por lo tanto antieconómicas, debe bombearse el agua residual. Cuando en un sitio se bombea el agua residual para descargarla en un alcantarillado a gravedad ubicado a una elevación más alta, el lugar donde se localiza la bomba se denomina estación de elevación o de bombeo.

El tratamiento del agua residual se lleva a cabo en una planta para estabilizar el material de desecho, es decir, para hacerlo menos putrescible. El efluente de la planta de tratamiento puede descargarse en un océano, lago o río (se les denomina cuerpos receptores). Alternativamente, puede descargarse en el terreno o ser procesada para su reúso. Los lodos generados en el proceso también pueden disponerse de una manera aceptable.

Al descargar los desechos, se debe tener cuidado de no rebasar la capacidad de asimilación del suelo o del cuerpo receptor.

Capítulo 2

Demanda de agua potable y aportación de aguas residuales

2.1 Demanda de agua potable

Los factores principales que gobiernan la cantidad de agua y por ende la fuente y la composición total del sistema de abastecimiento de agua son la población y los patrones de consumo. Uno de los primeros pasos del proceso de selección de una fuente de abastecimiento adecuada es determinar la demanda. Los elementos esenciales de la demanda de agua incluyen el consumo medio diario y la tasa punta de demanda.

Si el total de agua usado por una comunidad en un año se divide entre 365 días, se obtiene el consumo medio diario. Al dividir este valor entre la población total servida, se obtiene la demanda per cápita; en unidades del SI se expresa en litros por día por persona. Por ejemplo, si la demanda media diaria de agua es de 5 megalitros por día (5 M l/d) en un sistema que atiende a 10,000 personas, la demanda media per cápita sería 500 l/d por persona. Debe tenerse en cuenta que esta cifra incluye la contribución de los usos industrial, comercial, público y por fugas que correspondería a cada persona; no es sólo debida al uso doméstico.

Las razones por las que debe estimarse el consumo medio diario de agua son: 1) determinar la capacidad de la fuente de agua para satisfacer la máxima demanda incluso en periodos críticos, cuando el tirante de la corriente es bajo o los niveles freáticos están en sus elevaciones mínimas, y 2) estimar la cantidad de agua que debe almacenarse para satisfacer la demanda durante dichos periodos críticos.

Por otra parte, la tasa punta de demanda se estima con el propósito de determinar los diámetros de tubería, pérdidas de presión y el volumen de regularización necesario para satisfacer los requerimientos durante periodos de demanda de agua pico.

Existen muchos factores que influyen en el uso de agua de un sistema dado, por ejemplo, el solo hecho de que esté disponible el agua a presión estimula su uso, comúnmente de manera excesiva, en lavandería y jardinería, lavado de automóviles, operación de equipo de aire acondicionado y en otras actividades domésticas e industriales. Se ha observado que los siguientes factores tienen influencia en el consumo de agua, de manera notable:

1. Actividad industrial.
2. Medición.
3. Sistema de administración.
4. Estándar de vida.
5. Clima.

Los siguientes factores también influyen en el consumo del agua, pero en menor medida: disponibilidad de alcantarillado, presión del sistema, precio del agua y existencia de pozos privados.

La industria influye en el consumo incrementando la demanda per cápita. Las comunidades rurales y suburbanas pequeñas usan menos agua por persona que las comunidades industrializadas. La industria es probablemente el factor individual que más importancia tiene en el uso per cápita del agua.

El segundo factor en importancia es la disponibilidad de medidores para los consumidores individuales. La medición propicia un sentido de responsabilidad que no es común en los habitantes de edificios habitacionales y comerciales sin medidores. Este sentido de responsabilidad reduce el consumo per cápita debido a que los usuarios reparan sus fugas y ahorran el agua casi siempre como consecuencia de su precio. Debido a que el agua es muy barata, el precio no es un factor muy importante.

El seguimiento de la medición es uno de los aspectos de la administración del sistema. Si el sistema de distribución del agua está bien administrado, el consumo per cápita del agua es menor que si no lo está. En los sistemas bien administrados los operadores saben cuando y dónde ocurren fugas en las tuberías y las reparan prontamente.

En el control del consumo de agua, la actividad industrial, la medición y el sistema de administración son factores más significativos que el estándar de vida o el clima. La racionalidad de los dos últimos factores se explica en seguida. El uso per cápita del agua se incrementa con el aumento en el estándar de vida. Los países altamente desarrollados usan mucho más agua que las naciones menos desarrolladas, como se muestra en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1
Demanda per cápita de agua por país y ciudad

| País/ciudad | Año | litros/persona/día |
|---------------------------|------|--------------------|
| México | | |
| Ciudad de México | 1996 | 364 |
| Brasil (promedio) | 1989 | 151 |
| Brasilia | 1989 | 211 |
| Sao Paulo | 1988 | 237 |
| Sta. Catarina | 1990 | 143 |
| Minas | 1990 | 154 |
| Chile | | |
| Santiago | 1994 | 204 |
| Colombia | | |
| Bogotá | 1992 | 167 |
| Costa Rica | 1991 | 208 |
| Canadá (promedio) | 1984 | 431 |
| Estados Unidos (promedio) | 1984 | 666 |

Fuente: Banco Mundial, División de Agua y Saneamiento, Indicadores. Servicios de agua y saneamiento Mayo de 1996 Washington, D C.

De manera similar, el estatus socioeconómico alto implica mayor uso per cápita del agua que el estatus socioeconómico bajo. A mayor temperatura anual promedio, mayor uso per cápita del agua, mientras que las áreas de alta precipitación pluvial hacen menor uso del agua.

El Cuadro 2.2 presenta los resultados medios de la demanda per cápita obtenidos por el IMTA¹ con base en un estudio efectuado en varias ciudades de la República Mexicana. El tipo de clima se define en función de la temperatura media anual de la zona de acuerdo con el Cuadro 2.3.

Cuadro 2.2.
Consumos domésticos per cápita

| CLIMA | CONSUMO POR CLASE SOCIOECONÓMICA (l/hab/día) | | |
|------------|---|-------|---------|
| | RESIDENCIAL | MEDIA | POPULAR |
| Cálido | 400 | 230 | 185 |
| Semicálido | 300 | 205 | 130 |
| Templado | 250 | 195 | 100 |

NOTAS. 1) Para los casos de climas semifrío y frío se consideran los mismos valores que para clima templado. 2) El clima es función de la temperatura media anual

Cuadro 2.3.
Clasificación de climas por su temperatura.

| Temperatura media anual (° C) | Tipo de Clima |
|----------------------------------|---------------|
| Mayor que 22 | Cálido |
| De 18 a 22 | Semicálido |
| De 12 a 17.9 | Templado |
| De 5 a 11.9 | Semifrío |
| Menor que 5 | Frío |

Variaciones en la demanda de agua

En cualquier comunidad la demanda de agua varía de forma estacional, diaria y horaria. Por ejemplo, en un cálido día de verano no es raro que el consumo de agua sea del orden de 200 por ciento de la demanda media diaria. Si la demanda diaria promedio es de 670 l/d, entonces podría estimarse una demanda diaria pico de $2 \times 670 = 1340$ l/d por persona. Generalmente, las tuberías y bombas de un sistema de distribución (así como plantas de tratamiento y pozos) deben diseñarse para satisfacer los gastos pico diarios u horarios -dependiendo esto del tipo de red de distribución-, más bien que de los gastos promedio.

La expresión que define el gasto promedio diario, es la siguiente:

$$Q_{med} = \frac{P \times D}{86400} \dots \dots \dots (2.1)$$

donde:

Q_{med} = gasto promedio diario, en l/s.
P = número de habitantes.

¹ Lineamientos Técnicos para la Elaboración de Estudios y Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario; Segunda Versión, 1994.

D = demanda o dotación, en l/hab/día.
 86400 = segundos del día.

El gasto punta diario, o *gasto máximo diario*, se obtiene de la siguiente manera:

$$Q_{MD} = CV_d \times Q_{med} \dots \dots \dots (2.2)$$

donde:

Q_{MD} = gasto máximo diario, en l/s.
 CV_d = coeficiente de variación diaria, generalmente 1.4.
 Q_{med} = gasto promedio diario, en l/s.

El consumo del agua también varía horariamente a lo largo del día, de acuerdo con un patrón algo predecible. Las demandas horarias punta en las zonas habitacionales ocurren comúnmente por la mañana y en las horas de la tarde-noche, justo antes y después de una jornada de trabajo normal. El gasto mínimo se presenta alrededor de las 4 A.M. cuando casi nadie está usando el agua.

La Figura 2.1 muestra una gráfica de las variaciones típicas del uso del agua en diferentes ciudades de México, expresadas como porcentajes horarios del gasto máximo diario. En esta gráfica, el gasto horario punta ocurre a aproximadamente las 10 A.M.

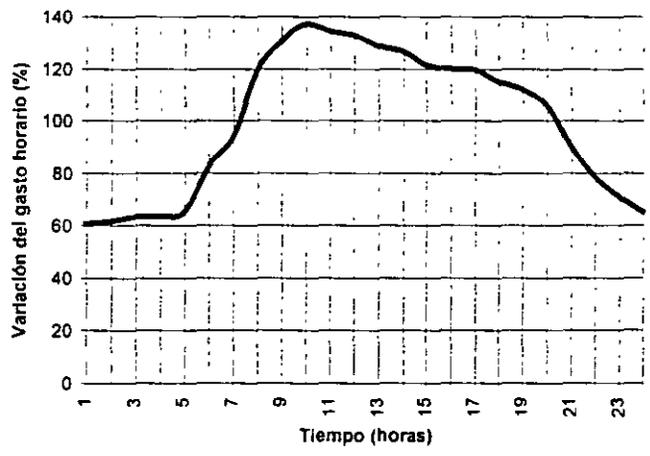


Figura 2 1 Variación del gasto horario para diferentes ciudades de México

El gasto máximo horario se define como el requerido para satisfacer las necesidades de la población en el día de máximo consumo y a la hora de máximo consumo. Se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{MH} = CV_h \times Q_{MD} \dots \dots \dots (2.3)$$

donde:

Q_{MH} = gasto máximo horario, en l/s.
 CV_h = coeficiente de variación horaria, generalmente 1.55.

Q_{MD} = gasto máximo diario, en l/s.

Como se discutirá más adelante, estas demandas horarias punta son satisfechas generalmente con el agua contenida en los tanques de regularización, en lugar de que sean cubiertas por las bombas del sistema. De otra manera, las bombas y tuberías tendrían que ser excesivamente grandes para manejar los gastos que ocurren en un tiempo relativamente corto. Las Figuras 2.2 y 2.3 muestran las variaciones del gasto horario en la Ciudad de México y en poblaciones pequeñas del país respectivamente.

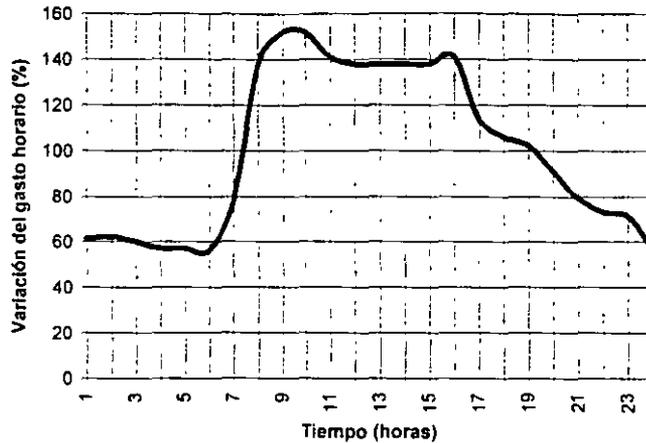


Figura 2.2. Variación del gasto horario en la Ciudad de México.

Con el propósito de mostrar la influencia de las costumbres y estándar de vida en la variación de la demanda, a continuación se presentan algunos datos correspondientes a Estados Unidos de América. El valor del promedio nacional de consumo del agua en 1970 fue 628 litros per cápita al día (lpcd). Un estudio similar conducido en 1954 produjo un valor de 556 (lpcd). El promedio residencial unifamiliar es de 208 l/d. Para viviendas con medidor los coeficiente de variación diaria y horaria son como sigue: día máximo = 2.2 x día medio; hora pico = 2.2 x 2.4 x día medio. El Cuadro 2.4 presenta los coeficientes de variación empleados en otros países o sugeridos por algunos autores.

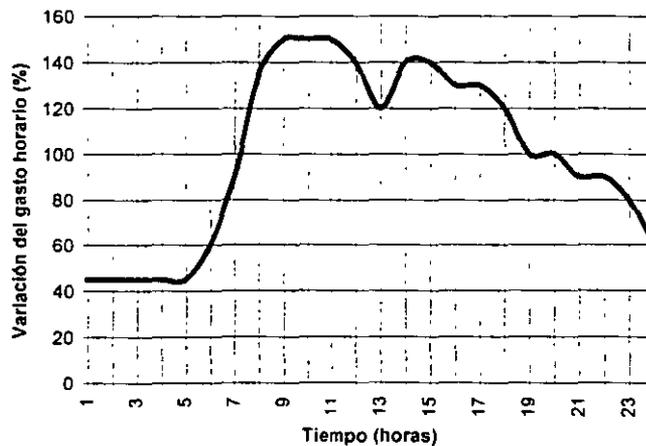


Figura 2.3. Variación del gasto horario para poblaciones pequeñas

Cuadro 2.4
Coefficientes de variación diaria y horaria empleados en varios países

| Pais o investigador | Coefficiente de variación diaria | Coefficiente de variación horaria |
|---------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| México | 1.4 | 1.55 |
| Brasil | 1.25 - 1.5 | 1.5 |
| Colombia | 1.20 - 2.0 | 1.5 |
| El Salvador | No considerado | 3 |
| Guatemala | No considerado | 1.5 - 2.5 |
| Honduras | No considerado | 1.5 - 2.0 |
| Venezuela | 1.20 | 2.0 - 2.75 |
| Holanda | No considerado | 1.5 - 4.00 |
| España | No considerado | Vol. máx. hor. = (Vol. Medio) / 10 |
| | | |
| Steel | 1.8 - 2.0 | 1.5 |
| Babbit y Clark | 2.25 | 3.0 |
| Hardenberg | 1.50 - 1.60 | 2.5 - 3.0 |

Al comparar el uso del agua en diferentes comunidades puede observarse una variación amplia en los gastos promedio, máximo diario y máximo horario. En la medida de lo posible, debe determinarse o estimarse la demanda específica de agua para cada área de servicio. En general, las ciudades grandes tienen un consumo de agua más grande que las comunidades pequeñas, y en las áreas de servicio pequeñas son notorios los altos gastos punta.

2.2 Aportación de aguas residuales

El uso del agua potable determina la cantidad de aguas residuales que llega a la planta de tratamiento, dicha cantidad varía ampliamente a través del día. La Figura 2.4 muestra la variación diaria típica. La mayor parte del agua usada en una localidad terminará en el sistema de alcantarillado; sin embargo, entre 5 y 10 por ciento se pierde en actividades de lavandería, lavado de automóviles y otros usos consuntivos. El uso consuntivo equivale a la diferencia entre la tasa promedio de agua que fluye hacia la red de distribución y la tasa promedio de aguas residuales que fluye hacia la planta de tratamiento, con excepción de las fugas de las tuberías.

La cantidad de aguas residuales, con una excepción, depende de los mismos factores que determinan la cantidad de agua requerida para el abastecimiento. La excepción mencionada se refiere a las condiciones del agua subterránea, que afectan la cantidad de agua por infiltración. Mientras que la red de distribución de agua potable opera a presión, la red de alcantarillado funciona a gravedad, por lo que el agua subterránea puede infiltrarse en las tuberías. Existe también la posibilidad de infiltración en los pozos de visita, circunstancia particularmente importante durante la época de lluvias. El agua adicional producto de la infiltración puede sobrecargar hidráulicamente la red de alcantarillado provocando que las aguas residuales se regresen a las edificaciones. Los nuevos materiales y procesos constructivos hacen posible reducir la infiltración a una cantidad insignificante

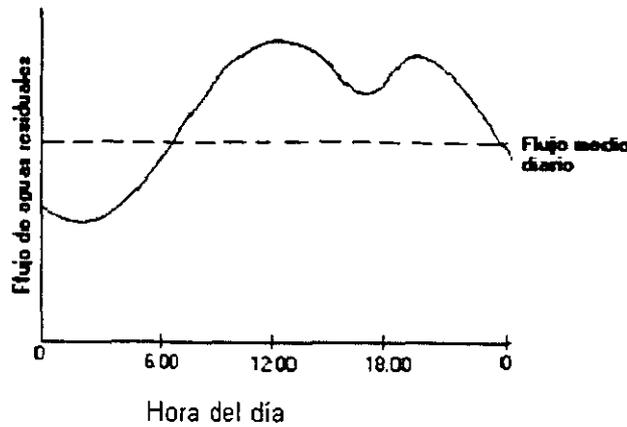


Figura 2 4 Variación diaria típica del gasto de aguas residuales que llega a una planta de tratamiento

El criterio aceptado para estimar la aportación de aguas residuales para fines de diseño es considerar que 75% de la demanda per cápita de agua potable será recolectado por la red de alcantarillado.

Variaciones de la aportación

El gasto medio de aguas residuales es función de la población a servir y de la aportación.

$$Q_{med} = \frac{P \times A}{86400} \dots \dots \dots (2.4)$$

donde:

- Q_{med} = gasto promedio diario, en l/s.
- P = número de habitantes.
- A = aportación de aguas residuales, en l/hab/día.
- 86400 = segundos del día.

Los sistemas de alcantarillado se diseñan para conducir los gastos punta o máximos, no sólo los gastos promedio.

La variación punta de aguas residuales se estima utilizando la fórmula propuesta por Harmon:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \dots \dots \dots (2.5)$$

donde.

- M = coeficiente de variación máxima instantánea de aguas residuales.
- P = población servida, en miles de habitantes.

Si la población a servir es menor o igual a 1000 habitantes, el coeficiente se considera constante e igual a 3.8. Cuando la población a servir es mayor a 63450 habitantes, el coeficiente se considera constante e igual

a 2.17, lo que significa que a partir de esa cantidad de habitantes, el coeficiente no sigue ya la ley de variación propuesta por Harmon; esto se basa en el hecho de que al ser un reflejo del consumo de agua potable, el valor máximo del coeficiente de aportación de aguas residuales tiene que coincidir con la variación punta horaria de la demanda, que es $1.4 \times 1.55 = 2.17$.

El gasto punta, o *gasto máximo instantáneo*, se obtiene de la siguiente manera:

$$Q_{MI} = M \times Q_{med} \dots \dots \dots (2.6)$$

donde:

- Q_{MI} = gasto máximo instantáneo, en l/s.
- M = coeficiente de variación máxima.
- Q_{med} = gasto promedio diario, en l/s.

Con respecto al gasto mínimo, se estima en una cantidad igual a la mitad del gasto medio.

Es muy importante tener una buena estimación de los gastos antes del diseño del sistema de alcantarillado. Si la cantidad de agua residual es subestimada, la selección de los diámetros y pendientes de las alcantarillas pueden ser demasiado pequeñas para conducir los gastos punta. A esta condición se le llama *subdiseño*, y puede ocasionar la *sobrecarga* de parte del sistema, que se manifiesta por el derrame de agua en algunas estructuras del sistema conocidas como *pozos de visita*, localizadas en los cruceros de calle.

Ejemplo. Determinación de los coeficientes de variación diaria y horaria para una localidad.

El Cuadro 1.1 muestra el registro de volumen total medido cada día durante un año, en metros cúbicos, en la tubería de salida del único tanque de regularización de una localidad que actualmente tiene 4345 habitantes. El Cuadro 1.2 muestra el registro de volúmenes demandados cada hora (no son acumulados) durante el día de máximo consumo del año. Calcular:

- El coeficiente de variación diaria;
- El coeficiente de variación horaria; y
- La dotación que está entregando el sistema.

Cuadro 1.1. Registro de volúmenes diarios de agua potable consumidos en una localidad

| D | V(m ³) | D | V(m ³) | D | V(m ³) | D | V(m ³) | D | V(m ³) | D | V(m ³) | D | V(m ³) | D | V(m ³) | D | V(m ³) | D | V(m ³) |
|----|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|
| 1 | 1069 | 3 | 709 | 7 | 590 | 1 | 1170 | 1 | 857 | 1 | 1512 | 2 | 839 | 2 | 1087 | 2 | 1410 | 3 | 1087 |
| | | 8 | | 5 | | 1 | | 4 | | 8 | | 2 | | 6 | | 9 | | 3 | |
| | | | | | | 2 | | 9 | | 6 | | 3 | | 0 | | 7 | | 4 | |
| 2 | 1067 | 3 | 774 | 7 | 636 | 1 | 1419 | 1 | 820 | 1 | 1115 | 2 | 1180 | 2 | 1300 | 2 | 977 | 3 | 673 |
| | | 9 | | 6 | | 1 | | 5 | | 8 | | 2 | | 6 | | 9 | | 3 | |
| | | | | | | 3 | | 0 | | 7 | | 4 | | 1 | | 8 | | 5 | |
| 3 | 1115 | 4 | 885 | 7 | 1051 | 1 | 958 | 1 | 1253 | 1 | 922 | 2 | 1235 | 2 | 1447 | 2 | 1419 | 3 | 1097 |
| | | 0 | | 7 | | 1 | | 5 | | 8 | | 2 | | 6 | | 9 | | 3 | |
| | | | | | | 4 | | 1 | | 8 | | 5 | | 2 | | 9 | | 6 | |
| 4 | 977 | 4 | 1115 | 7 | 940 | 1 | 663 | 1 | 1134 | 1 | 848 | 2 | 1041 | 2 | 756 | 3 | 1041 | 3 | 1078 |
| | | 1 | | 8 | | 1 | | 5 | | 8 | | 2 | | 6 | | 0 | | 3 | |
| | | | | | | 5 | | 2 | | 9 | | 6 | | 3 | | 0 | | 7 | |
| 5 | 811 | 4 | 1014 | 7 | 1078 | 1 | 839 | 1 | 986 | 1 | 1346 | 2 | 1051 | 2 | 1327 | 3 | 1207 | 3 | 1161 |
| | | 2 | | 9 | | 1 | | 5 | | 9 | | 2 | | 6 | | 0 | | 3 | |
| | | | | | | 6 | | 3 | | 0 | | 7 | | 4 | | 1 | | 8 | |
| 6 | 608 | 4 | 590 | 8 | 1327 | 1 | 802 | 1 | 1087 | 1 | 1456 | 2 | 774 | 2 | 829 | 3 | 820 | 3 | 765 |
| | | 3 | | 0 | | 1 | | 5 | | 9 | | 2 | | 6 | | 0 | | 3 | |
| | | | | | | 7 | | 4 | | 1 | | 8 | | 5 | | 2 | | 9 | |
| 7 | 1078 | 4 | 977 | 8 | 1419 | 1 | 645 | 1 | 1429 | 1 | 1023 | 2 | 1207 | 2 | 1364 | 3 | 1253 | 3 | 829 |
| | | 4 | | 1 | | 1 | | 5 | | 9 | | 2 | | 6 | | 0 | | 4 | |
| | | | | | | 8 | | 5 | | 2 | | 9 | | 6 | | 3 | | 0 | |
| 8 | 1336 | 4 | 1226 | 8 | 940 | 1 | 617 | 1 | 1060 | 1 | 1004 | 2 | 1023 | 2 | 1032 | 3 | 958 | 3 | 1014 |
| | | 5 | | 2 | | 1 | | 5 | | 9 | | 2 | | 6 | | 0 | | 4 | |
| | | | | | | 9 | | 6 | | 3 | | 0 | | 7 | | 4 | | 1 | |
| 9 | 1078 | 4 | 1226 | 8 | 691 | 1 | 1060 | 1 | 1558 | 1 | 1465 | 2 | 802 | 2 | 1318 | 3 | 1401 | 3 | 1178 |
| | | 6 | | 3 | | 2 | | 5 | | 9 | | 3 | | 6 | | 0 | | 4 | |
| | | | | | | 0 | | 7 | | 4 | | 1 | | 8 | | 5 | | 2 | |
| 10 | 525 | 4 | 1401 | 8 | 877 | 1 | 811 | 1 | 912 | 1 | 1180 | 2 | 1217 | 2 | 1217 | 3 | 783 | 3 | 688 |
| | | 7 | | 4 | | 2 | | 5 | | 9 | | 3 | | 6 | | 0 | | 4 | |
| | | | | | | 1 | | 8 | | 5 | | 2 | | 9 | | 6 | | 3 | |
| 11 | 995 | 4 | 553 | 8 | 746 | 1 | 617 | 1 | 912 | 1 | 1087 | 2 | 922 | 2 | 1235 | 3 | 626 | 3 | 746 |
| | | 8 | | 5 | | 2 | | 5 | | 9 | | 3 | | 7 | | 0 | | 4 | |
| | | | | | | 2 | | 9 | | 6 | | 3 | | 0 | | 7 | | 4 | |
| 12 | 608 | 4 | 1355 | 8 | 1097 | 1 | 599 | 1 | 1143 | 1 | 1253 | 2 | 654 | 2 | 1429 | 3 | 765 | 3 | 912 |
| | | 9 | | 6 | | 2 | | 6 | | 9 | | 3 | | 7 | | 0 | | 4 | |
| | | | | | | 3 | | 0 | | 7 | | 4 | | 1 | | 8 | | 5 | |
| 13 | 885 | 5 | 599 | 8 | 1410 | 1 | 1235 | 1 | 1429 | 1 | 1585 | 2 | 940 | 2 | 1078 | 3 | 1180 | 3 | 1178 |
| | | 0 | | 7 | | 2 | | 6 | | 9 | | 3 | | 7 | | 0 | | 4 | |
| | | | | | | 4 | | 1 | | 6 | | 5 | | 2 | | 9 | | 6 | |
| 14 | 839 | 5 | 912 | 8 | 580 | 1 | 1023 | 1 | 829 | 1 | 1290 | 2 | 885 | 2 | 1373 | 3 | 903 | 3 | 1261 |
| | | 1 | | 8 | | 2 | | 6 | | 9 | | 3 | | 7 | | 1 | | 4 | |
| | | | | | | 5 | | 2 | | 9 | | 6 | | 3 | | 0 | | 7 | |
| 15 | 968 | 5 | 931 | 8 | 1124 | 1 | 645 | 1 | 1134 | 2 | 1253 | 2 | 1134 | 2 | 857 | 3 | 709 | 3 | 1037 |
| | | 2 | | 9 | | 2 | | 6 | | 0 | | 3 | | 7 | | 1 | | 4 | |
| | | | | | | 6 | | 3 | | 0 | | 7 | | 4 | | 1 | | 8 | |
| 16 | 940 | 5 | 562 | 9 | 654 | 1 | 1060 | 1 | 1051 | 2 | 1143 | 2 | 1401 | 2 | 1226 | 3 | 1134 | 3 | 937 |
| | | 3 | | 0 | | 2 | | 6 | | 0 | | 3 | | 7 | | 1 | | 4 | |
| | | | | | | 7 | | 4 | | 1 | | 5 | | 2 | | 2 | | 9 | |

| D | V (m³) | D | V (m³) | D | V (m³) | D | V (m³) | D | V (m³) | D | V (m³) | D | V (m³) | D | V (m³) | D | V (m³) | D | V (m³) |
|----|--------|----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|
| 17 | 857 | 54 | 599 | 91 | 866 | 128 | 839 | 165 | 940 | 202 | 1004 | 239 | 1069 | 276 | 765 | 313 | 1253 | 350 | 1244 |
| 18 | 1217 | 55 | 1207 | 92 | 1281 | 129 | 912 | 166 | 1290 | 203 | 1438 | 240 | 1429 | 277 | 820 | 314 | 1051 | 351 | 1194 |
| 19 | 949 | 56 | 673 | 93 | 1272 | 130 | 562 | 167 | 940 | 204 | 1041 | 241 | 839 | 278 | 1447 | 315 | 1115 | 352 | 829 |
| 20 | 1429 | 57 | 1355 | 94 | 1180 | 131 | 1032 | 168 | 1355 | 205 | 1134 | 242 | 1226 | 279 | 977 | 316 | 1161 | 353 | 958 |
| 21 | 829 | 58 | 543 | 95 | 820 | 132 | 516 | 169 | 1069 | 206 | 1087 | 243 | 912 | 280 | 857 | 317 | 940 | 354 | 968 |
| 22 | 737 | 59 | 709 | 96 | 949 | 133 | 1124 | 170 | 1087 | 207 | 1189 | 244 | 1401 | 281 | 1355 | 318 | 1327 | 355 | 700 |
| 23 | 1373 | 60 | 848 | 97 | 599 | 134 | 1355 | 171 | 746 | 208 | 1327 | 245 | 986 | 282 | 995 | 319 | 1327 | 356 | 1263 |
| 24 | 1383 | 61 | 1060 | 98 | 977 | 135 | 765 | 172 | 1429 | 209 | 1281 | 246 | 1235 | 283 | 645 | 320 | 958 | 357 | 1290 |
| 25 | 1069 | 62 | 1087 | 99 | 1217 | 136 | 949 | 173 | 958 | 210 | 1023 | 247 | 903 | 284 | 811 | 321 | 765 | 358 | 1226 |
| 26 | 986 | 63 | 1401 | 100 | 940 | 137 | 1465 | 174 | 1419 | 211 | 1051 | 248 | 1364 | 285 | 894 | 322 | 608 | 359 | 1170 |
| 27 | 1272 | 64 | 1097 | 101 | 1244 | 138 | 1180 | 175 | 931 | 212 | 1383 | 249 | 995 | 286 | 912 | 323 | 1069 | 360 | 885 |
| 28 | 1401 | 65 | 608 | 102 | 737 | 139 | 1521 | 176 | 986 | 213 | 1456 | 250 | 1290 | 287 | 691 | 324 | 894 | 361 | 562 |
| 29 | 968 | 66 | 1346 | 103 | 1327 | 140 | 1253 | 177 | 1373 | 214 | 977 | 251 | 1180 | 288 | 903 | 325 | 765 | 362 | 1392 |
| 30 | 1346 | 67 | 599 | 104 | 811 | 141 | 885 | 178 | 1567 | 215 | 1097 | 252 | 1263 | 289 | 875 | 326 | 1244 | 363 | 691 |
| 31 | 1032 | 68 | 1124 | 105 | 1161 | 142 | 1106 | 179 | 995 | 216 | 977 | 253 | 903 | 290 | 1051 | 327 | 1253 | 364 | 728 |
| 32 | 1060 | 69 | 1355 | 106 | 1115 | 143 | 756 | 180 | 857 | 217 | 1051 | 254 | 1383 | 291 | 1429 | 328 | 1290 | 365 | 820 |
| 33 | 617 | 70 | 737 | 107 | 746 | 144 | 977 | 181 | 1364 | 218 | 1392 | 255 | 1115 | 292 | 1253 | 329 | 958 | | |
| 34 | 829 | 71 | 885 | 108 | 719 | 145 | 1447 | 182 | 829 | 219 | 1263 | 256 | 783 | 293 | 1401 | 330 | 1410 | | |
| 35 | 1170 | 72 | 1401 | 109 | 1419 | 146 | 1078 | 183 | 1309 | 220 | 1419 | 257 | 1143 | 294 | 765 | 331 | 1207 | | |
| 36 | 811 | 73 | 580 | 110 | 654 | 147 | 1115 | 184 | 1143 | 221 | 1475 | 258 | 1078 | 295 | 1060 | 332 | 1087 | | |
| 37 | 626 | 74 | 691 | 111 | 1041 | 148 | 857 | 185 | 1106 | 222 | 783 | 259 | 1346 | 296 | 617 | 333 | 673 | | |

Cuadro 1.2. Registro de volúmenes horarios consumidos el día de máximo consumo

| Hora | V (m ³) | Hora | V (m ³) | Hora | V (m ³) | Hora | V (m ³) | Hora | V (m ³) | Hora | V (m ³) |
|------|------------------------|------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|
| 0-1 | 40.02 | 4-5 | 42.99 | 8-9 | 86.32 | 12-13 | 85.06 | 16-17 | 78.99 | 20-21 | 59.50 |
| 1-2 | 40.68 | 5-6 | 54.68 | 9-10 | 90.61 | 13-14 | 83.61 | 17-18 | 76.01 | 21-22 | 51.78 |
| 2-3 | 41.80 | 6-7 | 61.95 | 10-11 | 88.69 | 14-15 | 80.31 | 18-19 | 74.03 | 22-23 | 46.89 |
| 3-4 | 42.07 | 7-8 | 79.18 | 11-12 | 87.77 | 15-16 | 79.32 | 19-20 | 64.99 | 23-24 | 47.75 |

Capítulo 3

Previsión de la población

La proyección demográfica de una localidad tiene gran importancia en el proyecto de los sistemas de abastecimiento de agua potable y de evacuación de aguas residuales porque sus valores inciden tanto en los aspectos de diseño como en los administrativos y financieros. El propósito de estas estimaciones es planear para el futuro, ya que los principales componentes de los sistemas se diseñan y construyen de un tamaño suficientemente grande para satisfacer las necesidades de la población durante un lapso razonable denominado *periodo de diseño*.

El crecimiento de la población no actúa como una fuerza independiente, sino que los factores económicos y sociales influyen en el crecimiento de la población y al revés.

Es importante destacar que deben tomarse determinadas precauciones y tener en cuenta algunos factores limitantes para hacer una buena predicción de la población. Por ejemplo, debe hacerse una estimación de la capacidad que puede admitir el terreno disponible para saber si una predicción determinada resulta o no razonable. Así, hay lugares congestionados de construcciones que tienen poco espacio para más personas: en ellos, no importa cuáles hayan sido las tendencias del pasado, las personas no pueden habitar por no existir más espacio para ellas. Es decir, que estas poblaciones están saturadas y por consiguiente no se puede suponer que tengan crecimiento futuro a la hora de estudiar el espacio disponible.

La información más confiable sobre la población de una localidad se obtiene mediante un censo oficial bien conducido. El gobierno de México, en la actualidad a través del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), levanta un censo cada 10 años desde 1930.

Sin algunos métodos para estimar el crecimiento de la población, los ingenieros encargados de la planeación de los sistemas de abastecimiento de agua potable y evacuación de aguas residuales se encontrarían ante dificultades insuperables. Afortunadamente, los datos de los censos de población pueden adaptarse a un modelo matemático, como los que se estudiarán en este capítulo, para efectuar previsiones de población de acuerdo con el periodo de diseño definido para la obra en cuestión.

Otra razón por la que es necesario predecir el crecimiento de la población es de carácter político, ya que si se cuenta con una estimación razonablemente aproximada del número de habitantes en alguna fecha futura y esa cantidad es demasiado grande para ser compatible con el bienestar

social, se contaría con elementos de juicio para la aplicación de medidas de control de la población.

3.1 Período de diseño y población de proyecto

Los elementos de los sistema de abastecimiento de agua potable y de evacuación de aguas residuales se proyectan con capacidad prevista para dar servicio durante un lapso futuro después de su construcción que se denomina período de diseño. Este proceder es lógico ya que no se proyectan los sistemas en áreas urbanas estáticas sino que están sujetas a la dinámica del cambio de población con el transcurso del tiempo.

Se entiende por *período de diseño* el intervalo de tiempo durante el cual la obra llega a su nivel de saturación. El período de diseño en general es menor que la *vida útil* o sea el tiempo que razonablemente se espera que la obra sirva a los propósitos sin tener gastos de operación y mantenimiento elevados que hagan antieconómico su uso o que requieran ser eliminadas por insuficientes. Rebasado el período de diseño, la obra continuará funcionando hasta cumplir su vida útil en términos de una eficiencia cada vez menor.

La CNA sugiere en sus Lineamientos Técnicos¹ que el dimensionamiento de las obras se realice considerando periodos de corto plazo, exceptuando aquellas que debido a sus características específicas requieran un período de diseño mayor por economía de escala. Además recomienda concebir proyectos modulares, que permitan diferir las inversiones el mayor tiempo posible. El objetivo es alcanzar el máximo rendimiento de la inversión al no tener infraestructura ociosa en el corto plazo.

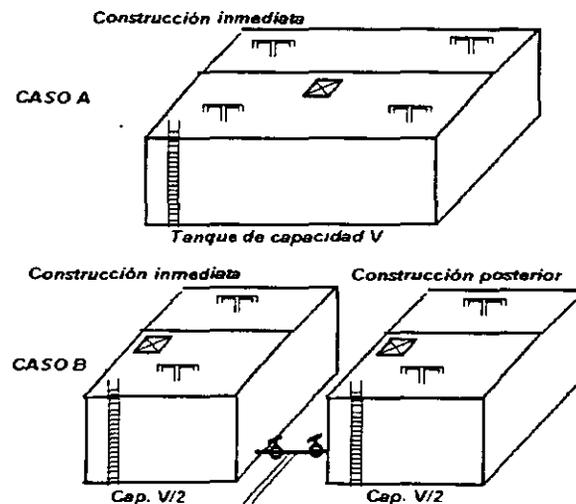


Figura 3.1. Dos alternativas para el proyecto de la obra de regularización de un sistema de abastecimiento.

La Figura 3.1 ilustra un ejemplo hipotético de proyecto modular de una obra de regularización. En el caso A se propone un sólo tanque de capacidad V calculada para atender a la población total prevista de acuerdo al período de diseño considerado. Como es de suponer, en los primeros

¹

LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA ELABORACION DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO, SEGUNDA VERSION

años de su operación no se utilizaría a toda su capacidad, es decir, parte de la obra estaría ociosa. En el caso B se propone un proyecto modular, de manera que se construiría en forma inmediata un módulo de capacidad menor que V que operaría a toda su capacidad. Antes de ser insuficiente, ya se estaría construyendo el segundo módulo para reunir entre los dos la capacidad total V; juntos los dos módulos serían suficientes para abastecer a la población total calculada para el periodo de diseño establecido en el proyecto. En el caso A la inversión inicial sería mayor que en el caso B, y además en este último se estaría en posibilidad de utilizar la recaudación por concepto de tarifas para la construcción del segundo módulo, o sea que la inversión fue diferida.

Desde luego que el número de módulos en que se decida construir una obra depende de un análisis minucioso de los aspectos técnicos y económicos de cada caso.

El Cuadro 3.1 refiere los periodos de diseño recomendados por la CNA para los diferentes elementos de los sistemas de agua potable y alcantarillado.

Cuadro 3.1
Periodos de diseño recomendados por la CNA¹ para las obras de los sistemas de abastecimiento de agua potable y de evacuación de aguas residuales

| OBRA | PERIODO DE DISEÑO |
|-------------------------|-------------------|
| Pozo Embalse (presa) | 5 hasta 50 |
| Línea de conducción | de 5 a 20 |
| Planta potabilizadora | de 5 a 10 |
| Estación de bombeo | de 5 a 10 |
| Tanque | de 5 a 20 |
| Distribución primaria | de 5 a 20 |
| Distribución secundaria | a saturación |
| Red de atarjeas | a saturación |
| Colector y emisor | de 5 a 20 |
| Planta de tratamiento | de 5 a 10 |

En general, un dato básico para el diseño de los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado, es una estimación de la población futura a que servirán, denominada *población de proyecto*, que es la cantidad de habitantes por servir con la obra, que se ha previsto que se tendrá al final del periodo de diseño fijado para el proyecto en cuestión. Por ejemplo, si se planea iniciar la operación del proyecto de un sistema de abastecimiento de agua potable en el año X, y se dispone que el periodo de diseño sea de 20 años, entonces deberá estimarse la población que se tendrá en el año X + 20 y esa cantidad será la población de proyecto.

3.2 Previsión de la población mediante extrapolación de las curvas de crecimiento

El método más obvio para predecir el crecimiento de la población consiste en construir una gráfica que relacione la cantidad de habitantes con el tiempo y conjeturar acerca de cómo se prolongará la curva, o sea *extrapolar* puntos de la curva. La extrapolación es un arte sutil; el que sólo continuáramos la curva sin aplicar criterio alguno sería un ejercicio frívolo. Si dos personas lo hicieran en forma independiente, una supondrá acaso que la curva seguirá subiendo indefinidamente, en tanto que la otra dibujará tal vez una curva que suba hasta un punto culminante y luego caiga por debajo de cero, o bien la dibujará horizontal. Sin embargo, tratándose del comportamiento de una población podríamos excluir determinadas clases de curvas. En efecto, las poblaciones tanto infinitas como negativas serían imposibles; una población cero sería sumamente improbable por muchos años, y las grandes fluctuaciones serían asimismo poco probables. Pero aún así, con exclusiones no lograríamos hacer una extrapolación razonable, a menos que tuviéramos una teoría del crecimiento de la población.

En 1798 el Reverendo Thomas Robert Malthus propuso un modelo de crecimiento de población. Malthus observó que si no se la controlaba, la población crecía en *proporción geométrica*. Malthus afirmaba que, en cambio, la reserva de alimentos sólo aumenta en *proporción aritmética*.

El modelo geométrico de crecimiento se caracteriza por tener una velocidad de crecimiento directamente proporcional al valor de la población en cada instante de tiempo, o sea

$$\frac{dP}{dt} = K_G P$$

ó

$$\frac{dP}{P} = K_G dt \quad (3.1)$$

donde K_G es la velocidad de crecimiento cuando la población P es la unidad.

Integrando la ecuación (3.1) se obtiene

$$\int_1^2 \frac{dP}{P} = K_G \int_1^2 dt$$

$$\ln P_2 - \ln P_1 = K_G (t_2 - t_1) \quad (3.2)$$

y de la ec. (3.2)

$$K_G = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} \quad (3.3)$$

Para un tiempo T cualquiera:

$$\ln P = \ln P_2 + K_G (T - t_2) \quad (2.4)$$

El modelo aritmético de crecimiento tiene como característica un incremento constante para incrementos de tiempo iguales y en consecuencia la velocidad de crecimiento, o sea la relación del incremento de población con respecto al período de tiempo, es una constante; expresado como ecuación, se tiene

$$\frac{dP}{dt} = K_a$$

o bien:

$$dP = K_a dt \quad (3.5)$$

donde P es la cantidad de habitantes; t el tiempo y K_a una constante que significa el incremento de población en la unidad de tiempo (año, decenio, etc.). Integrando (3.5)

$$\int_1^2 dP = K_a \int_1^2 dt$$

$$P_2 - P_1 = K_a (t_2 - t_1) \quad (3.6)$$

de la ec. (3.6) se obtiene K_a :

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \quad (3.7)$$

Para un tiempo T cualquiera se tiene la ecuación lineal

$$P = P_2 + K_a (T - t_2) \quad (3.8)$$

donde el índice "2" se considera para los datos iniciales (P_2 , cantidad inicial de habitantes en el tiempo t_2).

El problema ejemplo 3.1 presenta ejemplos de ambos tipos de crecimiento.

Problema ejemplo 3.1

Supóngase una población inicial de 10 personas y una producción inicial de alimentos de 45 kg. Si la población crece en proporción geométrica con una constante $K_G = 0.693$ y la producción de alimentos en proporción aritmética con una constante $K_a = 2$, estímese la cantidad de cada una a 1, 2, 3 y 4 años.

Solución

Para el caso de la población, aplicando la ecuación 3.2, se tiene para el primer año

$$P = \text{inv Ln} (\text{Ln } 10 + 0.693(1)) = 20 \text{ personas.}$$

Para el segundo año

$$P = \text{inv Ln} (\text{Ln } 10 + 0.693(2)) = 40 \text{ personas.}$$

De la misma forma se obtuvieron los resultados para los años 3 y 4 que se muestran en el Cuadro 3.2.

Para el caso de la producción de alimentos, aplicando la ecuación 3.8. se tiene para el primer año

$$P = 45 + 2(1) = 47 \text{ kg}$$

y para el segundo año

$$P = 45 + 2(2) = 49 \text{ kg}$$

Análogamente se obtuvo la producción de alimentos en los años 3 y 4; los resultados se muestran en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2
Comparación entre los crecimientos geométrico y aritmético

| AÑO | CRECIMIENTO GEOMÉTRICO | CRECIMIENTO ARITMÉTICO |
|-----|------------------------|------------------------|
| 0 | 10 personas | 45 kg de alim. |
| 1 | 20 | 47 |
| 2 | 40 | 49 |
| 3 | 80 | 51 |
| 4 | 160 | 53 |

En la Figura 3.2, se representan los dos tipos de curva de crecimiento. El crecimiento geométrico es mucho más rápido que el aritmético; por consiguiente, predecía Malthus, cualquier población, si no se la controla, acabará haciéndose demasiado grande para la reserva de alimentos. Y proseguía:

Según esta ley de nuestra naturaleza, que hace que el alimento sea necesario para la vida del hombre, los efectos de esas dos fuerzas desiguales han de mantenerse iguales.

Esto implica un control vigoroso y constante sobre la población, por la dificultad de la subsistencia. Esta dificultad se situará en algún sitio y habrá de ser percibida gravemente por una gran parte de la humanidad...

... La raza de las plantas y la raza de los animales se reducen por efecto de esta ley restrictiva. Y la raza del hombre no puede, por esfuerzo alguno de la razón, substraerse a ella. Entre las plantas y los animales, sus efectos son desperdicios de semillas, enfermedad y muerte prematuras. Y entre la humanidad, son pobreza y

vicio².

Las premisas en que se basa la teoría de Malthus no se han revelado históricamente como ciertas. Primero, debido a las rápidas mejoras en las técnicas agrícolas, la reserva de los alimentos humanos ha aumentado mucho más rápidamente que en proporción aritmética y, en segundo lugar, las curvas de crecimiento en proporción geométrica no describen apropiadamente los aumentos de la población humana. Sin embargo, no puede negarse el fondo del argumento malthusiano, porque existen efectivamente límites al número de personas que la Tierra puede soportar y, a menos que el crecimiento se controle relativamente, algo por el estilo de "la miseria y el vicio" malthusianos afligirá efectivamente a la humanidad.

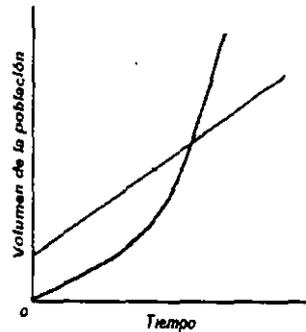


Figura 3.2. Curvas esquemáticas del crecimiento aritmético (recta) y geométrico (línea curva).

Problema ejemplo 3.2

A partir de los datos censales de una localidad que se muestran a continuación, estimar la población para el año 2010 con el modelo aritmético.

| DATOS CENSALES | |
|----------------|-----------|
| AÑO | POBLACIÓN |
| 1970 | 19290 |
| 1980 | 22762 |
| 1990 | 27314 |

Solución

Se recomienda usar como datos a sustituir en la ec. (3.8) los últimos dos censos, ya que representan la tendencia más reciente del crecimiento de la población.

De la ec. (3.3):

$$K_{a \ 80-90} = \frac{27314 - 22762}{1990 - 1980} = 455.2$$

²T.R. Malthus, An assay on the principle of population. Publicado originalmente en 1798 Reimpreso en G. Hardin, dir. Population, Evolution and Birth Control (San Francisco: W.H. Freeman and Co., 1969) Págs 7-8.

De la ec. (3.8):

$$P_{2010} = P_{1990} + K_{a\ 80-90} (2010 - 1990) = 27314 + 455.2 (2010 - 1990) = 36418 \text{ hab}$$

Problema ejemplo 3.3

A partir de los datos censales del ejemplo 3.2, estimar la población para el año 2010 con el modelo geométrico.

Solución

Nuevamente se toman los dos últimos censos como datos a sustituir en la ec. (3.3):

$$K_{G\ 80-90} = \frac{\text{Ln } 27314 - \text{Ln } 22762}{1990 - 1980} = 0.01823$$

y de la ec. (3.4)

$$\text{Ln } P_{2010} = \text{Ln } P_{1990} + K_G (2010 - 1990)$$

$$\text{Ln } P_{2010} = \text{Ln } 27314 + 0.01823 (2010 - 1990) = 10.57975$$

$$P_{2010} = e^{10.57975} = 39\ 330 \text{ hab}$$

Reiteramos que cuando se supone un crecimiento en progresión geométrica, los valores que se obtienen para la población futura son mayores que los que se obtendrían si se supone un crecimiento en progresión aritmética.

La expresión (3.4) puede escribirse:

$$\text{Ln } P = \text{Ln } P_o + K_G t \quad (3.9)$$

donde P_o es la población cuando $t = 0$. Tomando antilogaritmos a (3.9) se obtiene:

$$P = P_o e^{K_G t} \quad (3.10)$$

La ecuación (3.10) es la conocida como de capitalización con interés compuesto, es decir, el interés periódico se capitaliza aumentando el capital anterior y usualmente e^{K_G} se representa como $(1+i)$, donde i es la tasa de interés y la expresión de P quedará

$$P = P_o (1 + i)^t \quad (3.11)$$

Ambas expresiones, la (3.4) y la (3.11) corresponden al modelo geométrico de crecimiento, aunque comúnmente se ha aceptado el referirse a la expresión (2.11) como *método de interés*

compuesto.

Problema ejemplo 3.4

Calcular la población al año 2010 con la ecuación del interés compuesto considerando los siguientes datos censales

| DATOS CENSALES | |
|----------------|-----------|
| AÑO | POBLACIÓN |
| 1970 | 172000 |
| 1980 | 249000 |
| 1990 | 292000 |

Solución.

A partir de la ec. (3.11), podemos obtener una expresión para la tasa de interés por simple despeje:

$$i = \sqrt[t]{\frac{P}{P_0}} - 1$$

Sustituyendo los datos proporcionados:

$$i_{80-90} = \sqrt[10]{\frac{292000}{249000}} - 1 = 0.0160$$

ó 1.60 % anual

Con esta tasa, se obtiene la población para 2010

$$P_{2010} = 292000(1 + 0.0160)^{(2010-1990)}$$

$$P_{2010} = 401\,104 \text{ hab}$$

El carácter superficial de los modelos geométrico y aritmético para predecir la población futura ha conducido a la búsqueda de otras representaciones del crecimiento.

3.3. Crecimiento logístico

Las proyecciones de población se modelan frecuentemente con una curva de crecimiento logística o en forma de S (sigmoide), como la mostrada en la Figura 3.3; dicha curva tiene en gran parte apariencia intuitiva. Sugiere una fase temprana de crecimiento exponencial mientras las condiciones para el crecimiento son óptimas, seguida por un crecimiento cada vez más lento conforme la población se acerca a la capacidad de carga o valor de saturación de su ambiente.

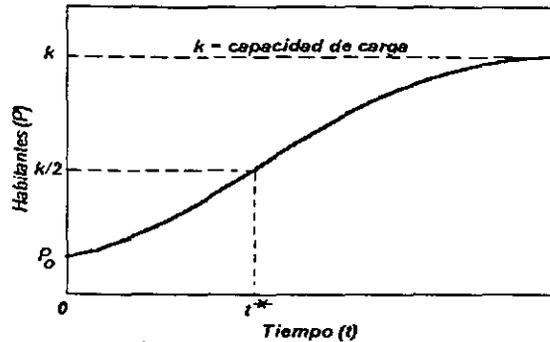


Figura 3.3. Curva de crecimiento logístico.

Matemáticamente, la curva logística se deriva de la siguiente ecuación diferencial

$$\frac{dP}{dt} = kP \left(1 - \frac{P}{L}\right) \quad (3.12)$$

donde P es el tamaño de la población, k es la tasa de crecimiento, y L es llamada la capacidad de carga del ambiente. Note que cuando P es mucho menor que L , la tasa de cambio de la población es proporcional al tamaño de la población. Esto es, la población crece exponencialmente con una tasa k . Conforme P se incrementa, la tasa de crecimiento disminuye, y al final, conforme P alcanza a L , el crecimiento se detiene y la población se estabiliza a un nivel igual a la capacidad de carga. El factor $(1-P/L)$ se denomina resistencia ambiental. Conforme la población aumenta, la resistencia se incrementa continuamente.

La solución a la ecuación 3.12 es

$$P = \frac{L}{1 + e^{-k(t-t^*)}} \quad (3.13)$$

Note que t^* corresponde al tiempo en el cual $P = L/2$. Sustituyendo $t=0$ en la ecuación 3.13 podremos resolverla para t^* :

$$t^* = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{L}{P_0} - 1 \right) \quad (3.14)$$

donde P_0 es la población al tiempo $t = 0$. En las aplicaciones comunes de la ecuación 3.13, la tasa de crecimiento es conocida en $t = 0$ pero esta no es la misma conforme a la tasa de crecimiento k . Para encontrar k podemos introducir otro factor, R_0 . Sea $R_0 =$ tasa instantánea de crecimiento en $t = 0$. Si caracterizamos el crecimiento en $t = 0$ como exponencial, entonces

$$\left. \frac{dP}{dt} \right|_{t=0} = R_0 P_0 \quad (3.15)$$

Pero de la ecuación 3.12

$$\left. \frac{dP}{dt} \right|_{t=0} = k P_0 \left(1 - \frac{P_0}{L} \right) \quad (3.16)$$

De manera que la ecuación 3.15 con la ecuación 3.16 produce

$$k = \frac{R_0}{1 - \frac{P_0}{L}} \quad (3.17)$$

La ecuación 3.17 nos permite el uso de cantidades que son conocidas en $t = 0$, o sea el tamaño de la población (P_0) y la tasa de crecimiento poblacional (R_0), para encontrar el factor de crecimiento apropiado k , de la ecuación 3.13. El siguiente ejemplo ilustra este proceso.

Problema ejemplo 3.5

Suponga que la población humana crece en forma logística, hasta que la curva se estabiliza a los 15 billones. En 1986 la población mundial fue de 5 billones y su tasa de crecimiento era de 1.7 por ciento. ¿Cuándo sería la población de 7.5 billones? ¿Cuándo sería de 14 billones?

Solución

Necesitamos calcular k usando la ecuación 3.17

$$k = \frac{R_0}{1 - \frac{P_0}{L}} = \frac{0.017}{1 - \frac{5.0 \times 10^9}{15.0 \times 10^9}} = 0.0255$$

El tiempo requerido para alcanzar 7.5 billones, o sea la mitad de la población final, puede calcularse con la ecuación 3.14.

$$t^* = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{L}{P_0} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1}{0.0255} \ln \left(\frac{15 \times 10^9}{5 \times 10^9} - 1 \right) = 27 \text{ años}$$

Para determinar el número de años que pasarán para alcanzar 14.0 billones, requerimos resolver la ecuación 3.13 para t:

$$P = \frac{L}{1 + e^{-k(t-t^*)}}$$

$$t = t^* - \frac{1}{k} \ln \left(\frac{L}{P} - 1 \right) =$$

$$t = 27 - \frac{1}{0.0255} \ln \left(\frac{15}{14} - 1 \right) = 130 \text{ años}$$

Sin embargo, la curva sigmoide, aunque con frecuencia resulte útil, no describe, con todo, todas las poblaciones. Por otra parte es rara vez útil para predecir los innumerables cambios que tienen lugar en los tipos de crecimiento de las poblaciones humanas. En nuestros días existe información detallada sobre tasas de natalidad y mortalidad, y composición de la población por edad que puede utilizarse para efectuar proyecciones demográficas más apegadas a la realidad. Para este fin, es necesario que el lector comprenda qué son los ritmos de crecimiento y de qué modo la mortalidad y la natalidad afectan el volumen de las poblaciones; ha de estar en condiciones de percibir la relación entre el crecimiento actual y futuro, y el descenso. En resumen, necesita conocer los principios de la demografía, que es el estudio de la dinámica de la población humana.

3.4. Demografía

La demografía es la rama de la antropología que trata del estudio estadístico de las características de las poblaciones humanas, con referencia al volumen total, a la densidad, al número de muertes, a las enfermedades y migraciones, etc. El demógrafo trata de construir un perfil numérico de la población que estudia. Le interesa conocer hechos relativos al volumen y la composición de las poblaciones, por ejemplo, el número de varones en una determinada población, o el número de bebés nacidos en un año determinado.

Además de estudiar la composición de las poblaciones, el demógrafo está interesado en

averiguar cómo cambian con el tiempo. Estudia los cambios contando el número de *acontecimientos vitales*. Esto es, los nacimientos, las muertes, los matrimonios y las migraciones. Si supiera la composición de una población en un momento determinado y el número de acontecimientos vitales que tienen lugar entre dicho momento y otro, sabría la composición de la población al final del periodo. Por ejemplo, supongamos que en 1924 la población de alguna localidad era de 732. Si en los dos años siguientes hubo 28 nacimientos y 15 defunciones, y si cuatro personas llegaron a la localidad y una se fue, habrían: $732+28-15+4-1 = 748$ personas al final de 1926.

Los demógrafos estudian a menudo las *tasas vitales* esto es, el número de acontecimientos vitales que le ocurren a una población durante un periodo determinado de tiempo, dividido entre el volumen de la población.

Antes de considerar las tasas demográficas, hemos de comprender cómo crece la población. Si supiéramos que 100 personas estaban vivas el 1º de enero y 103 el 31 de diciembre, la tasa anual de crecimiento habrá sido de

$$\frac{(103-100)}{100} \times 100 = 3 \text{ por cien}$$

Una tasa de crecimiento de 3 por cien significa solamente que, por cada 100 personas, hubo tres nacimientos e inmigraciones más que muertes y emigraciones. Inclusive en el caso muy simple en que solamente hay nacimientos, la eliminación de una persona de la población afectará la tasa de crecimiento de los demás. Supongamos que tenemos 100 personas el 1º de enero y que hay tres nacimientos, ninguna defunción y ninguna migración durante el año. El 31 de diciembre tendríamos 103 personas, o sea un aumento del 3 por cien. Supongamos ahora que sólo consideramos 99 personas, dejando de lado un bebé. Seguiría habiendo tres nacimientos. Así pues, habría $99 + 3 = 102$ personas, y la tasa de crecimiento sería de

$$\frac{(102-99)}{99} \times 100 = 3.03 \text{ por cien}$$

Por otra parte, supongamos que consideramos la tasa de crecimiento de la población excluyendo no un bebé, sino una de las mujeres que tuvo un niño. Ahora tendríamos dos nacimientos por 99 personas, y la tasa de crecimiento sería

$$\frac{(101-99)}{99} \times 100 = 2.02 \text{ por cien}$$

Este sencillo ejemplo pone de manifiesto las dificultades a las que se enfrenta el que estudia el volumen de población.

La diferencia entre la tasa bruta de natalidad (n) y la tasa bruta de mortalidad (d) se denomina

tasa de crecimiento natural de la población (Figura 3.4). Esta tasa se calcula a menudo en relación a 1000 miembros de la población (lo cual se denomina tasa bruta), aunque puede expresarse como función decimal o como tasa porcentual

$$r = n - d \quad (3.18)$$

donde r es la tasa de crecimiento natural.

Aunque es razonable hablar en términos de una tasa de crecimiento natural, es siempre necesario considerar los efectos de la migración. Sea m la tasa de migración neta, que es la diferencia entre inmigración y emigración; podemos escribir la ecuación como sigue:

$$r = \overset{\hat{n}}{b} - d + m \quad (3.19)$$

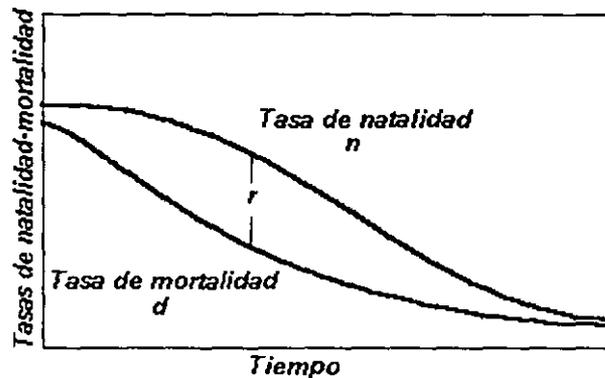


Figura 3.4. Representación estilizada de la transición demográfica como caída de las tasas de natalidad y mortalidad.

Cuando se hace referencia a la tasa de crecimiento de una población se habla del lapso en el cual la tasa de natalidad más la de inmigración, excede a la tasa de mortalidad más la de emigración.

La tasa bruta de natalidad (n) se refiere al número de infantes que nacen en un año por cada 1000 personas de una población, considerando el punto medio de dicho año:

$$n = \frac{\text{Núm. de nacimientos por año}}{\text{población total}} \times 1000$$

La tasa bruta de natalidad está en el rango de 40 a 50 por 1000 por año en los países menos desarrollados del mundo, mientras que en los más desarrollados está entre 10 y 20.

La medida más simple de la mortalidad es la tasa bruta de mortalidad (d), que se refiere al

número de muertes en un año por cada 1000 personas de una población. Convencionalmente esta tasa se basa también en el tamaño de la población correspondiente al punto medio del año en consideración:

$$d = \frac{\text{Núm. de defunciones por año}}{\text{población total}} \times 1000$$

Debe tenerse precaución en interpretar las tasas brutas de mortalidad, dado que la composición de la población no está tomada en cuenta. Una medida especialmente importante es la tasa de mortalidad infantil, que es el número de muertes de infantes (menores a un año de edad) por mil nacimientos vivos en un año dado. La tasa de mortalidad infantil es uno de los mejores indicadores de pobreza en un país. En los países más pobres del mundo, las tasas de mortalidad infantil pueden ser tan grandes como 200, lo que significa que uno de cinco niños no llegará a cumplir cinco años. En los países más desarrollados, las tasas de mortalidad infantil son alrededor de 9 por 1000 por año.

La tasa de migración neta (m) se refiere a la diferencia entre el número de personas, por año, por 1000 personas de la población, que entran a un área (país, estado, municipio) y el número que lo abandona.

$$m = \frac{\text{Inmigración} - \text{Emigración}}{\text{población total}} \times 1000$$

La tasa de migración neta puede ser positiva (cuando el número de inmigrantes es mayor al de emigrantes) o negativa (cuando el número de emigrantes es mayor al de inmigrantes).

Las cifras pueden dividirse entre 10 para producir una velocidad de crecimiento por ciento.

Problema ejemplo 3.6

En 1972, en México, la tasa bruta de natalidad fue de 43, la tasa bruta de mortalidad fue de 10 y la tasa de migración neta alcanzó un valor igual a cero.

- ¿Cuál fue la velocidad de cambio poblacional en México en 1972?
- ¿Cuál fue la tasa de crecimiento porcentual de México?

Solución

- $r = 43 - 10 + 0 = 33$ por 1000
- $r = 33/10 = 3.3\%$

3.5. Estructura de edad

Para investigar el crecimiento de la población, resulta útil suponer que la población que estamos estudiando consta de tres subpoblaciones definidas por la edad. La clase de edad prerreproductiva es la que comprende todas las personas de menos de 15 años, la clase de la edad reproductiva es la que comprende a todos los que están entre los 15 y los 45 años, y la clase posreproductiva comprende a las personas de más de 45 años. Los acontecimientos vitales afectan a cada una de estas clases: la muerte le puede ocurrir a cualquiera, sin embargo, las tasas de las muertes son funciones de la edad. Nos interesan, pues, las tasas de mortalidad específicas de cada edad, esto es: el número de personas de una determinada edad que mueren en un año determinado, dividido entre el número total de personas de aquella edad. En términos generales, dichas tasas suelen ser altas en la infancia, llegan a su nivel más bajo a aproximadamente los 10 años, y luego aumentan lentamente. Se hacen más altas que las tasas de mortalidad infantil en algún momento después de los 60 años. Determinados acontecimientos o condiciones de carácter social producirán cambios en este tipo general de tasa de mortalidad. Por ejemplo, la mortalidad de las madres es muy alta en las sociedades primitivas. Y los jóvenes en los países azotados por la guerra tienen tasas de mortalidad excepcionalmente altas. Además, en los países pobres, las tasas de mortalidad específicas de la edad no alcanzan el nivel de la mortalidad infantil hasta muy tarde en la vida.

Se sostiene a menudo que las enfermedades infecciosas, la carestía y los desastres naturales limitan pronunciadamente las poblaciones. En términos generales, esto es cierto, pero el efecto preciso de ello sobre el crecimiento futuro depende de la edad de las víctimas de la catástrofe. En efecto, si las víctimas se encuentran en el grupo de edad posreproductivo, el desastre ejercerá poco efecto sobre el volumen futuro de la población. Puesto que con frecuencia una gran proporción de las víctimas son las personas ancianas, permitir que los desastres restrinjan el crecimiento de la población es a la vez ineficaz e inmoral.

Los nacimientos, aunque les ocurren a miembros de la clase de edad reproductiva, añaden nuevos miembros a la clase prerreproductiva. Al examinar las tasas de natalidad, resulta útil considerar únicamente a las mujeres. La *fecundidad* de una mujer es la probabilidad que tiene de dar lugar a un nacimiento. La fecundidad está influenciada por factores tanto biológicos como sociológicos. Se dice que una mujer es *fecunda*, si es biológicamente capaz de concebir y dar a luz niños. La fecundidad de una mujer es cero antes de la pubertad, aumenta durante la adolescencia y los primeros de los años veintes, y luego decae, al principio lentamente y luego rápidamente, para volver, finalmente, a cero. Por supuesto, sin embargo, las mujeres no tienen bebés durante todo su periodo fecundo. Determinados tipos de patrones sociales influyen grandemente sobre las probabilidades de dar a luz. Considérese primero la edad a la que las mujeres se casan. En aquellas sociedades primitivas en las que la edad común del matrimonio es muy temprana, las mujeres tienden a tener bebés durante todo su periodo reproductivo. En las sociedades en las que el matrimonio se difiere, el número efectivo de años durante los cuales las mujeres conciben es mucho más reducido.

Otros factores sociales que afectan fuertemente los niveles de fertilidad son las actitudes políticas y religiosas que estimulan o frenan los nacimientos; el papel que desempeña la mujer en la sociedad; la cantidad de tiempo que pasa el padre fuera del hogar, y las actitudes relativas al deber del niño como productor durante la infancia y como soporte de sus progenitores en la edad avanzada.

El número de nacimientos está condicionado no sólo por los tipos de fecundidad, sino también por el número de mujeres en las clases de edad reproductiva, lo que, a su vez, depende del número de las que llegan a los 15 años, de los patrones de migración y, por supuesto, de la mortalidad durante los años reproductivos.

La tasa de fertilidad total es el número promedio de niños que nacerían vivos de una mujer, asumiendo que las tasas de nacimiento de edad específica permanecen constantes. Es una buena medida del número promedio de niños que cada mujer puede tener durante su vida.

El número de niños que una mujer debe tener, en promedio, para reemplazarse a sí misma con una hija en la siguiente generación, es llamado nivel de fertilidad de reemplazo. El nivel de fertilidad de reemplazo toma en cuenta las diferencias en la relación de nacimientos de hombres con respecto a mujeres, así como las tasas de mortalidad.

Los tipos de migración no afectan grandemente el crecimiento, excepto cuando migra una proporción importante de la población, especialmente si los migradores son predominantemente de un sexo.

El número real de bebés nacidos cada año depende tanto de la proporción de mujeres de la edad reproductiva que dan lugar a un nacimiento en un año determinado como del volumen de la categoría de la edad reproductiva. Por consiguiente, han de tenerse en cuenta los dos elementos para poder predecir con cierta aproximación los cambios de población que tendrán lugar.

Además de considerar los acontecimientos vitales, nuestra división tripartita de la población nos obliga a recordar que, en cualquier momento dado, los miembros de la población están avanzando en edad. En efecto, cada año, los individuos que llegan a los 15 años o que llegan a los 45 dejan un grupo de edad para ingresar en el otro.

3.6. Proyecciones de población

Se puede facilitar la comprensión y predicción del crecimiento de la población mediante tablas o diagramas que representen la composición de la edad de una población. Una representación gráfica de los datos, que indica cantidades de personas (o porcentajes de población) en cada grupo de edad, es llamada "estructura de edad o pirámide de población" (Figura 3.5).

La forma de una pirámide de población dice mucho acerca del pasado y del futuro próximo de la población.

En la Figura 3.5 se muestran las pirámides de edad típicas para poblaciones en expansión, estables y en declinación. Una población que por algún tiempo ha mantenido una tasa de natalidad elevada, adquiere la estructura de edad correspondiente a la pirámide de la izquierda, en la que cada generación resulta mayor que la precedente. Si el índice de crecimiento poblacional disminuye y se acerca a cero, se desarrolla una estructura estable en la que los grupos de edad prerreproductiva y reproductiva alcanzan más o menos el mismo tamaño, como sucede en la pirámide del centro. La declinación de la población se presenta cuando la tasa de natalidad decrece hasta que la proporción de los segmentos reproductivo y posreproductivo de la población resultan mayores que el prerreproductivo.

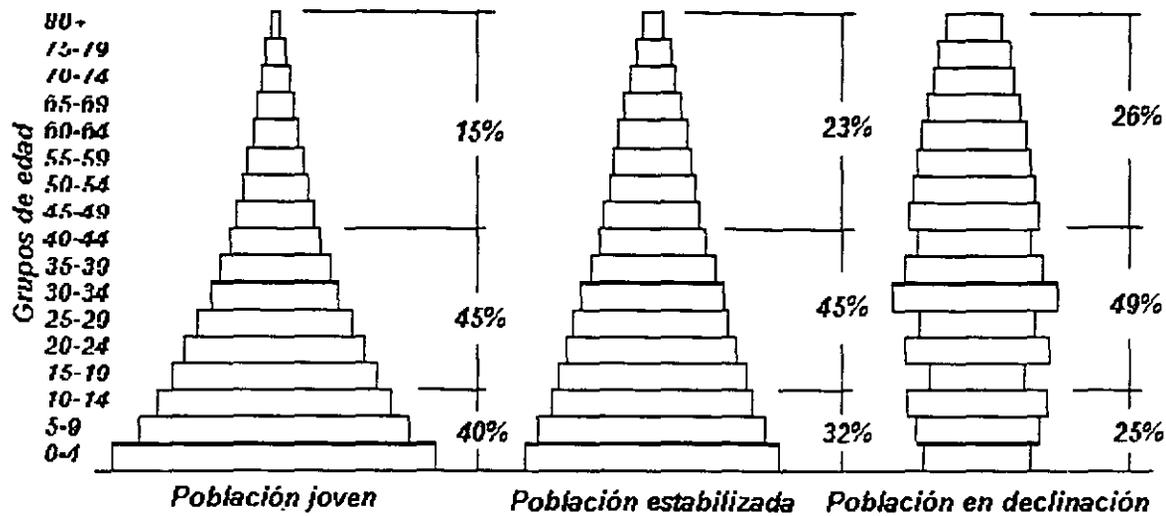


Figura 3.5. Comparación de pirámides de edad de poblaciones humanas jóvenes, estabilizadas y en declinación.

El conocimiento de la estructura de edad de una población es importante para predecir su tendencia de crecimiento en la localidad de que se trate. Las proyecciones que se basan exclusivamente en las tasas brutas de crecimiento pueden resultar bastante desorientadoras. Si la estructura de edad se combina con los datos de tasas de natalidad y mortalidad específicas por grupos de edad, es posible hacer proyecciones realistas de la composición y tamaño de la población futura de una localidad.

El punto de partida para efectuar la proyección de población de una localidad es la estructura de edad actual (pirámide poblacional), combinada con datos de mortalidad obtenidos de *tablas de vida*. Las tablas de vida, elaboradas por actuarios para las compañías aseguradoras, se utilizan para predecir el número de años de vida remanentes, como una función de la edad de sus clientes.

En general, una tabla de vida se desarrolla aplicando la tasa de mortalidad correspondiente a cada uno de los grupos de edad que constituyen una población real, a poblaciones hipotéticas estables y estacionarias que tienen 100 000 nacimientos con vida por año (y 100 000 defunciones cada año, dado que es una población estacionaria), distribuidos a lo largo del año, sin considerar migración.

Conforme las 100 000 personas agregadas envejecen cada año, sus grupos de edad disminuyen en número de integrantes de acuerdo con las tasas de mortalidad por edad específica. De esta manera es posible calcular la cantidad de gente que estaría viva dentro de cada grupo de edad en el año siguiente.

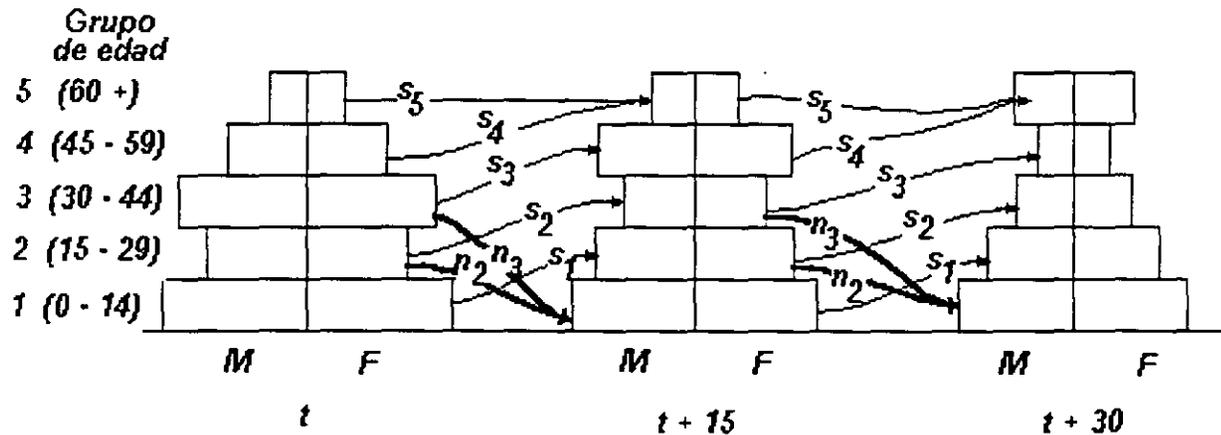
El ejemplo que se presenta a continuación ilustra el procedimiento para efectuar la estimación de la población futura de una localidad.

Problema ejemplo 3.7

El Cuadro 3.3 presenta datos de la estructura de edad de la población de una localidad que actualmente tiene 100 000 habitantes. Estímese la población que tendrá la localidad dentro de 15 años suponiendo que la tasa de migración neta es cero.

Solución

La Figura 3.6 representa la evolución de la estructura de edad de la población en los próximos 30 años.



s = sobrevivientes
 n = nacimientos sobrevivientes
 t = año actual

Figura 3.6. Estructura de edad de la población del problema ejemplo 3.7

Se ha clasificado a la población por grupos de edad y éstos por sexo. La proyección de la población se hace para cada uno de estos grupos por separado, pero para ello debe contarse con la tasa de supervivencia específica para cada grupo de edad, datos que se obtienen de las tablas de vida; en este ejemplo dichos datos se han incluido en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3

Datos de la estructura de edad de una población y tasas de supervivencia de las tablas de vida.

| N | GRUPO DE EDAD | TASAS DE SUPERVIVENCIA | | NACIMIENTOS SOBREVIVIENTES | POBLACION ACTUAL (MILES) | |
|---|---------------|------------------------|-------|----------------------------|--------------------------|-----|
| | | m_x | f_x | | MASC | FEM |
| 5 | 60+ | 0.20 | 0.40 | | 3 | 3 |
| 4 | 45-59 | 0.50 | 0.60 | | 5 | 5 |
| 3 | 30-44 | 0.65 | 0.70 | 0.90 | 12 | 12 |
| 2 | 15-29 | 0.75 | 0.80 | 2.00 | 10 | 10 |
| 1 | 0-14 | 0.85 | 0.90 | | 20 | 20 |

Caso típico

La situación demográfica actual en México y sus implicaciones³

La población mexicana atraviesa por una fase de plena y acelerada transición demográfica. La caída inicial de la mortalidad, ocurrida de manera ininterrumpida a partir de la década de los treinta, marcó el punto de arranque de la transición. A su vez, la declinación de la fecundidad, que indica el ingreso de la población mexicana a la siguiente etapa de este proceso, se remonta a fines de los años sesenta, pero no fue sino hasta mediados de la década siguiente cuando su descenso se aceleró vertiginosamente, en asociación cronológica con el diseño e instrumentación de una nueva política de población.

En la actualidad, la población mexicana asciende a cerca de 95 millones de habitantes, con una tasa de nacimiento natural (la diferencia entre la tasa bruta de natalidad y de mortalidad) de 1.93 por ciento anual. El saldo neto migratorio que mantiene México con el exterior es negativo (- 0.31 %) y al descontar esta cifra del aumento natural de la población, el crecimiento total se reduce a 1.62 por ciento anual. Sin embargo, la desaceleración del crecimiento demográfico no ha impedido que la población siga aumentando rápidamente en números absolutos. Esta tendencia seguramente prevalecerá en el futuro próximo, lo que resulta en gran medida de la llamada inercia demográfica, que es un impulso al crecimiento que está oculto en la estructura por edades de la población.

La disminución de la mortalidad

Uno de los mayores logros del México contemporáneo ha sido la reducción significativa de la mortalidad. La esperanza de vida de los mexicanos ascendió a 73 años en 1997, lo que significa más del doble de los 36 años de vida promedio en 1930. Uno de los componentes más importantes del aumento de la sobrevivencia se debe a la disminución de la mortalidad infantil. Mientras que alrededor de 180 de cada mil recién nacidos en 1930 fallecía antes de cumplir su primer aniversario, en 1997 ésta se redujo a menos de 30 por mil. Algo similar ocurre en cuanto a la sobrevivencia hasta las edades adultas; entre los nacidos en 1930, menos de la mitad (48 por ciento) sobrevivieron a los 60 años; en cambio para la generación de 1960 se espera que tres cuartas partes (75 por ciento) lo hagan; y se prevé que más del 90 por ciento de los nacidos en 1980 lleguen a esa edad.

No obstante las ganancias logradas en la sobrevivencia de los mexicanos, persisten marcadas desigualdades regionales y por grupos socioeconómicos. Así, por ejemplo, la esperanza de vida de la población que reside en Chiapas y Oaxaca es de alrededor de 71 años, en contraste con la que se observa en Baja California, Distrito Federal y Nuevo León, que es de 75 años, lo que equivale a una diferencia de cuatro años y a una sobremortalidad de 30 por ciento en las entidades que registran mayor rezago socioeconómico. Asimismo, la mortalidad infantil en las entidades de mayor marginación es 2.5 veces mayor que la observada en las entidades de mayor desarrollo relativo.

³

Síntesis del artículo "Los desafíos demográficos de México en el nuevo milenio" escrito por Rodolfo Tuirán y publicado en el número de abril de 1998 de la revista *Este País*. Rodolfo Tuirán se desempeña como secretario general del Consejo Nacional de Población y es presidente de la Sociedad Mexicana de Demografía.

La reducción de la fecundidad

La disminución de la fecundidad es el principal determinante de la desaceleración del crecimiento de la población y de los cambios recientes en su composición por edad. En 1964, la tasa global de fecundidad era de poco más de 7.0 hijos; a mediados de los ochenta disminuyó a 4.0 hijos, y en 1997 fue de 2.65 hijos promedio por mujer. En la fecundidad también persisten marcadas diferencias por grupos y regiones del país. Entre las mujeres sin escolaridad, la fecundidad es de 4.1 hijos, mientras que en aquellas que cursaron al menos un año de la enseñanza secundaria es de 2.4 hijos. Por tamaño de localidad y por entidad federativa ocurren también muy importantes diferencias. En las localidades de menos de 2,500 habitantes, la fecundidad promedio (3.8 hijos por mujer) es de 1.2 hijos mayor que la de quienes residen en áreas urbanas (2.6 hijos). Asimismo, la fecundidad en Baja California, el Distrito Federal y Nuevo León es de alrededor de 2.3 hijos, mientras que en Chiapas se sitúa en 4.0 hijos por mujer; es decir, una diferencia de 1.7 hijos en promedio, que equivale a lo que ha tomado la declinación de la fecundidad nacional durante los últimos 15 años.

La difusión de las prácticas de planificación familiar ha jugado un papel crucial en esta auténtica y silenciosa revolución demográfica. La prevalencia de uso de métodos anticonceptivos a nivel nacional creció de 30 por ciento en 1976 a 67.6 por ciento del total de mujeres unidas en edad fértil en 1997, lo que en este último caso equivale a cerca de 10.5 millones de usuarias activas de métodos anticonceptivos, quienes en su gran mayoría los obtiene de las instituciones públicas de salud. De mantenerse las tendencias recientes en el número de nuevas y nuevos aceptantes de métodos anticonceptivos, será factible cumplir con la meta establecida por el Programa Nacional de Población 1995-2000, que plantea que para alcanzar la cifra de 2.44 hijos por mujer en el año 2,000 será necesario incrementar la prevalencia de anticonceptivos a 70.2 por ciento de las mujeres unidas en edad fértil.

La migración internacional

La migración internacional no desempeñó un papel determinante en la dinámica demográfica del país en las primeras seis décadas de este siglo. Por un lado, la inmigración no fue muy significativa; por el otro, la emigración de mexicanos hacia el exterior tampoco alcanzó cuantiosos volúmenes. Sin embargo, durante las últimas tres décadas se ha registrado un notable incremento de la emigración hacia el vecino país del norte, fenómeno que a su vez no ha estado acompañado de un aumento significativo de la inmigración a México, lo que se refleja en un cuantioso saldo migratorio negativo con el exterior.

Se estima que entre 1960 y 1970 la pérdida de población fue de 260 mil a 290 mil personas; de 1.20 a 1.55 millones entre 1970 y 1980; de 2.10 a 2.60 millones entre 1980 y 1990; y alrededor de 1.5 millones durante el quinquenio 1990-1995. Las cifras citadas indican que el flujo neto anual (diferencia entre entradas y salidas) se ha multiplicado -en términos absolutos- más de 10 veces en las últimas tres décadas, al pasar de un promedio anual de 26 a 29 mil personas en la década de los sesenta a cerca de 300 mil migrantes por año en el primer quinquenio de la presente década. En el periodo de 1990 - 1995, alrededor del 55 por ciento de los migrantes se originaron en los nueve estados de alta tradición migratoria (Aguascalientes, Colima, Durango, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit, San Luis Potosí y Zacatecas), 25 por ciento residían antes de su partida en los estados del norte, y 20 por ciento en los estados del centro y sur del país.

Como consecuencia de esta dinámica, se estima que la población nacida en México que vivía en

Estados Unidos alcanzó en marzo de 1996 entre 7.0 y 7.3 millones, de los cuales cerca de 4.7 -4.9 millones de mexicanos son residentes documentados y 2.3 - 2.4 millones son indocumentados. Cabe señalar que la presencia de los residentes mexicanos se advierte en la gran mayoría de los estados y condados de la Unión Americana, aunque es evidente que tienden a agruparse en unos cuantos condados de los estados de California, Texas, Illinois y Arizona. En conjunto, dichos estados concentran alrededor del 90 por ciento de la población mexicana en Estados Unidos.

Estructura de la población y tendencias del crecimiento de los distintos grupos de edades

Las tendencias seguidas por los factores del cambio demográfico determinan no sólo el crecimiento de la población, sino también marcados cambios en su composición por edades. Por un lado, la disminución de la mortalidad origina un progresivo aumento de la sobrevivencia, reflejada en la pirámide de población por un número cada vez mayor de personas que llegan con vida hasta las edades adultas y avanzadas. Por el otro, la disminución de la fecundidad se traduce en un estrechamiento de la base de la pirámide, puesto que, a medida que este proceso se profundiza, el número de nacimientos es cada vez menor (gráfica 3). Ambos procesos conducen a un gradual envejecimiento de la población, caracterizado por una menor proporción de niños y jóvenes, así como un paulatino aumento del peso relativo de las personas en edades adultas y avanzadas. Por su parte, el efecto de la migración hacia Estados Unidos se advierte principalmente mediante la pérdida de población masculina en el grupo de edades 15 - 44.

Entre 1970 y 1997 son marcados los cambios que se aprecian en la composición por edades de la población. La proporción representada por los menores de 15 años pasó de 47.5 a 34.6 por ciento; en forma similar, la población de entre 15 y 64 años de edad se incrementó de 48.8 a 61.0 por ciento, mientras que la de 65 años y más aumentó su peso relativo de 3.7 a 4.4 por ciento. En ese mismo periodo, la edad media aumentó de 22.3 años a 25.9 años, mientras la razón de dependencia (i.e., la población menor de 15 años sumada a la de 65 años y más, dividida entre la población 15-64), disminuyó sensiblemente, de 1.04 a 0.64.

Un ángulo revelador de los rápidos cambios por los que atraviesa la composición por edades de la población lo constituye el examen de las tendencias de crecimiento de cuatro segmentos de edad: preescolar (menor de 6 años), escolar básica (6-14), laboral (15-64) y la población correspondiente a la tercera edad (65 años y más). Los distintos grupos de edades evolucionan con diferentes tasas de crecimiento.

El grupo de menores de cinco años representa aproximadamente 13.3 millones de niños y acusa desde 1993 una tasa de crecimiento negativa. Los incrementos anuales de este grupo han disminuido progresivamente de 252 mil en 1970 hasta volverse nulos en 1993 y de ahí en adelante se han tornado negativos (alrededor de 57 mil menores por año), lo que refleja el hecho de que la reducción de la fecundidad superó desde entonces -para este grupo de edad- el peso de la inercia demográfica.

El grupo de edad vinculado a la demanda escolar de educación básica (entre 6 y 14 años) sigue un patrón paralelo al de la población preescolar. Si bien su monto no ha dejado de aumentar, al pasar de 12.6 millones en 1970 a 19.5 millones en 1997, la reducción gradual en los incrementos anuales ha sido significativa, al disminuir de un máximo histórico de 472 mil en 1970 a solo 21 mil en 1997. Este descenso en el incremento absoluto ha implicado una significativa caída en la tasa de crecimiento de 3.7 por ciento en 1970 a 0.1 por ciento en la actualidad (que

se tomará negativa hacia el año 2 000).

El crecimiento de la población en edades de trabajo (entre 15 y 64 años) es, en cambio, más dinámico que el de los niños y jóvenes menores de 15 años, ya que se ve dominado por la inercia del crecimiento demográfico del pasado. Las adiciones anuales absolutas aumentaron rápidamente de 767 mil en 1970 a 1.4 millones en 1988, para estabilizarse a partir de este último año. Cabe subrayar que la tasa de crecimiento anual de la población en edades laborales ha venido disminuyendo hasta alcanzar 2.43 por ciento en la actualidad. No obstante, entre 1970 y 1997 el número de personas en este grupo de edades pasó de 24.3 a 57.8 millones, es decir, más que se duplicó en un lapso de 27 años.

La población de 65 años o más representa hoy día sólo 4.4 por ciento de la población (con 4.133 millones de personas) pero su crecimiento ha sido muy marcado: pasó de 2.06 por ciento anual en 1970 a 3.67 por ciento en 1990, hasta alcanzar 3.95 por ciento en 1997. Mientras el incremento anual fue de 38 mil individuos en 1970 y de 43 mil al año siguiente, actualmente asciende a 163 mil. La dinámica de crecimiento de este grupo refleja la rapidez del proceso de envejecimiento de la población mexicana.

Los cambios indicados en la composición por edades tienen importantes consecuencias en la formación de un amplio espectro de demandas que giran en torno a la segmentación por edades de la población. En el caso de la población preescolar y escolar, se aprecia ya un efecto de la disminución de la fecundidad, traducido en tasas de crecimiento negativas para estos grupos. Así, se estima que la demanda histórica más alta de niños entre 6 y 11 años de edad a la que tendrá que hacer frente el sistema de educación primaria será de 13.1 millones, mientras que para la instrucción secundaria será de 6.3 millones de jóvenes entre 12 y 14 años de edad. De no haberse frenado el alto crecimiento demográfico del pasado, la demanda de educación primaria y secundaria proveniente de estos grupos de edades sería actualmente de 23.4 y 9.8 millones, respectivamente.

Por el contrario, la población en edades laborales y de retiro ven su crecimiento aún marcado por la inercia demográfica del pasado. No se aprecian en el mediano plazo disminuciones significativas en sus tasas de crecimiento, e incluso se anticipan aumentos considerables en su volumen. Las personas en edades laborales demandan actualmente cerca de 38.1 millones de puestos de trabajo y su ritmo de crecimiento exige crear poco menos de un millón de empleos adicionales cada año. A su vez, la población de la tercera edad crece a un ritmo que es inédito en la historia demográfica de México. En el mediano y largo plazos, el proceso de envejecimiento de la población mexicana se traducirá en presiones crecientes sobre los sistemas de salud y seguridad social.

Los supuestos de las proyecciones

Las proyecciones disponibles acerca de la evolución de la población mexicana y sus parámetros básicos durante la última parte de este siglo y los primeros años del siguiente esbozan, en general, escenarios relativamente semejantes. Si bien es cierto que los ejercicios de prospectiva disponibles guardan algunas diferencias entre sí, ellos sugieren que la demografía nacional tal vez constituya el factor respecto al cual sea posible tener mayor certidumbre, frente a la enorme variedad de elementos contingentes de la economía, la sociedad y la política. Se utilizarán las proyecciones elaboradas por el Consejo Nacional de Población. Este ejercicio parte de supuestos únicos para la fecundidad, la mortalidad y la migración internacional. Dichos supuestos son los

siguientes:

La evolución prevista de la tasa global de fecundidad (TGF) a nivel nacional sigue las metas de corto y mediano plazos establecidas por la política de población del gobierno de México de 2.4 hijos por mujer en el 2000 y 2.1 hijos en el año 2005, para continuar descendiendo muy lentamente en los años siguientes, lo que implica tasas de crecimiento natural de 1.75 y 1.45 por ciento en esos años, respectivamente.

Se prevé que la mortalidad de la población del país continuará en descenso, aumentando la esperanza de vida de 73.6 años en 1997 a 74.4 años en el 2000 y, finalmente, a 79.2 en 2030. Asociadas a ese aumento en la vida media de la población, se prevén tasas de mortalidad infantil de 24 decesos por cada mil nacimientos en 2000, de 15 en 2015 y de 10 en 2030. La tendencia exhibida por la tasa bruta de mortalidad en el horizonte de proyección estaría reflejando el proceso paulatino de envejecimiento de la población, puesto que alcanzaría su nivel mínimo al final del presente siglo e iniciaría entonces una tendencia creciente.

Las previsiones sobre la migración internacional incorporan el conocimiento disponible acerca del comportamiento de las tasas de migración neta internacional por edad y sexo y se asume que esas tasas se mantendrán fijas hasta el año 2010 y a partir de ese año se reducirían hasta llegar a ser iguales a cero en el 2030. Para la población total de ambos sexos y de todas las edades, ello se traduce en pérdidas netas crecientes que van de 290 mil personas en 1995 a 325 mil en el año 2010.

Los resultados de las proyecciones

Si se cumplen los supuestos adoptados para la fecundidad, la mortalidad y la migración internacional:

El volumen de habitantes del país pasaría de 94.7 millones a mediados de 1997 a 99.9 millones en las postrimerías del año 2000. En el mediano y largo plazos, el volumen de habitantes habrá de aumentar a 111.7 millones en 2010 y 130.3 millones en el 2030.

La tasa de crecimiento natural disminuiría de 1.93 por ciento en 1997 a 1.75 por ciento en el 2000 y seguiría su curso hasta alcanzar 1.25 por ciento en el 2010 y 0.57 por ciento en el 2030.

El número anual de nacimientos se reduciría a 2.260 millones en 1997 a 2.176 millones en 2000, a 1.887 millones en 2010 y a 1.570 millones en el 2030. Además, como efecto de la estructura de edad más vieja de la población y a pesar de las mejoras en la esperanza de vida, el número de defunciones aumentaría de 425 mil en 1997 a 433 mil en el 2000, 491 mil en el 2010 y a más de 821 mil en el 2030.

El incremento anual de la población, derivado del crecimiento natural, alcanzaría la cifra de 1.834 millones en 1997. Este monto declinará gradualmente y alcanzará un total de 1.743 millones en el 2000, 1.397 millones en el 2010 y 748 mil en el 2030.

Los resultados descritos implicarían notables y continuas modificaciones en la composición por edades de la población. Como expresión de esos cambios:

La edad media de la población aumentaría de 26 años en el 2000 a 29 años en el 2010 y

a casi 37 años en el 2030.

En el año 2000, el 62.5 por ciento de la población se encontraría en edades laborales, 4.7 por ciento encima de 65 años, y 32.8 por ciento por debajo de 15 años. Para los años 2010 y 2030, la situación cambiaría significativamente: 67 y 69 por ciento de la población se agruparía en edades laborales; 6.1 y 11.9 por ciento en la tercera edad; y 28.9 y 19 por ciento entre los menores de 15 años, respectivamente.

La evolución descrita tendría profundas consecuencias en la formación de un amplio espectro de demandas que giran en torno a la segmentación por edades de la población.

Actividades de los alumnos para realizar por su cuenta.

Preguntas y problemas propuestos

1. Defínase los siguientes términos: tasa, tasa de crecimiento, tasa de cambio.
2. Esbócese la teoría de Malthus del crecimiento de la población.
3. ¿Cuál es la diferencia entre los crecimientos aritmético y geométrico?
4. ¿Qué es una curva sigmoide? Explique su utilidad como modelo para el crecimiento de poblaciones humanas.
5. Suponga que el crecimiento de una población sigue una curva logística hasta que se estabiliza en 500,000 habitantes, considerando que en el año actual tiene 125,000 habitantes y una tasa de crecimiento de 1.7 por ciento. ¿Cuándo alcanzaría la población 400,000 habitantes?
6. Defínase demografía, acontecimiento vital, tasa vital.
7. Compárese fecundidad y fertilidad. ¿Qué factores afectan a una y a otra?
8. ¿Cómo afecta la migración el crecimiento de la población?
9. ¿Cómo sirven las curvas de distribución relativas a la edad y el sexo para predecir el crecimiento futuro?
10. Considérese una población en la que el 10% de todas las mujeres no tienen niños. El 10% aproximadamente tienen solamente un niño. Supóngase que todas las demás tienen exactamente dos niños, y que no se produce migración alguna.
 - a. ¿Cuántos niños producirá una cohorte de 1000 mujeres?
 - b. Supóngase que el 90% de los bebés llegan a la edad reproductiva. ¿Cuántos niños susceptibles de llegar a la edad reproductiva producirá la cohorte?
 - c. ¿Cuántos niños susceptibles de llegar a la edad reproductiva ha de producir una cohorte de 1000 mujeres para reemplazarse exactamente a sí misma? (Supongamos números iguales de muchachos y muchachas.)
 - d. ¿Cuántos niños han de nacer en una cohorte para que ésta se reemplace a sí misma, esto es, para producir un crecimiento de población igual a cero?
 - e. ¿Cuál ha de ser el número promedio de bebés producidos por mujer para llegar a un crecimiento de población igual a cero?
 - f. ¿Cuál ha de ser el número de bebés producido por el 80% de las mujeres que tienen más de un niño, con objeto de llegar a un crecimiento de población igual a cero?

- g. Si las mujeres produjeran el número promedio de bebés supuesto en el inciso e), ¿por qué un crecimiento de población igual a cero no se produciría acaso necesariamente enseguida?
11. Considérese la población de una localidad el 1° de enero del año pasado, con la siguiente distribución relativa a la edad y las tasas vitales que se muestran. Supóngase que no se da migración alguna.

DISTRIBUCION DE LA POBLACION
1° DE ENERO DEL AÑO PASADO

| EDAD | POB. DE AMBOS SEXOS, EN MILLONES | TASA DE NAT/1000 | TASA DE MORT/1000 |
|-------|---|---------------------|----------------------|
| <1 | 4 | 150 | 0 |
| 1-14 | 40 | 15 | 0 |
| 15-44 | 44 | 10 | 100 |
| 45-64 | 10 | 20 | 0 |
| 65+ | 2 | 100 | 0 |

- a. ¿Cuál es la población total representada por el cuadro?
- b. ¿Cuál es la tasa de natalidad conjunta (aproximada) por millar y año?
- c. ¿Cuál es la tasa aproximada de mortalidad?
- d. ¿Cuál es la tasa de aumento natural, esto es, la diferencia en porcentajes entre las tasas de natalidad y de mortalidad aproximadas?
- e. Suponga que hay tres millones de individuos de 14 años de edad, un millón de 44 años, y 500 000 de 64 años. Supongamos que las tasas de mortalidad son las mismas para cada clase de edad (por ejemplo, la tasa de mortalidad de los individuos de 20 años y la de los de 44 años es de 10 muertos por millar y por año). Suponga que todos los nacimientos ocurren el 1° de enero y todas las defunciones el 31 de diciembre. Demuestre que la distribución de edades el 1° de enero del presente año es como se muestra en el cuadro siguiente.
- f. ¿Cuál sería la población total de la localidad al 1° de enero del año actual?
- g. ¿Cuál fue la tasa de crecimiento durante el año anterior?
- h. ¿Cómo ha cambiado la forma de la curva de distribución de la población en el año anterior? Examine las implicaciones del descenso del grupo de los individuos de 1 a 14 años. ¿Cuál grupo de edad tuvo el mayor porcentaje de aumento?

DISTRIBUCION DE LA POBLACION
1º DE ENERO DEL AÑO EN CURSO

| EDAD | POBLACION DE AMBOS SEXOS EN MILLONES |
|-------|---|
| <1 | 4.400 |
| 1-14 | 39.845 |
| 15-44 | 45.525 |
| 45-64 | 10.300 |
| 65+ | 2.290 |

Unidad 2

Obras de captación y conducción

En Egipto, Mesopotamia y Grecia se construyeron los primeros pozos, fuentes, represas y acueductos. A partir del siglo quinto AC, los romanos desarrollaron también este tipo de obras; la construcción del primer acueducto en la región, llamado Aqua Appia, marcó la modernización de Roma. Al principio los acueductos consistían en cunetas sencillas con gradiente natural, que abastecían las fuentes usando la gravedad. Más tarde se diseñaron y construyeron acueductos sobre arcos y suministraron agua a los baños públicos y casas, a menudo a través de una tubería principal. En 11 AC se reglamentó la distribución de agua encomendando la tarea a los *aquarii*. La función de este gremio profesional era "asegurar que las fuentes públicas tengan agua para todos, tan regularmente como sea posible, día y noche".

En Roma, en el primer siglo, existían 13 acueductos que suministraban diariamente 750 millones de litros de agua a 1352 fuentes públicas, 11 baños termales y 926 casas de baño. La dotación era de aproximadamente 1000 litros por habitante por día.

Hipócrates (460 - 377 AC) percibía la relación entre la calidad del agua y la salud de la población, pues expresaba que un doctor "que llega a una ciudad desconocida debe tener una idea muy clara del agua que usan sus habitantes". Apenas le prestaron atención y el consecuente período de oscurantismo duró más de 2000 años.

Pasteur demostró la existencia de enfermedades causadas por microorganismos y su naturaleza contagiosa, al estudiar las enfermedades en animales, tales como el antrax, la erisipela porcina y la pebrina de gusanos de seda. Durante los 20 años siguientes a 1875, los científicos identificaron los microorganismos causantes de la lepra, el antrax, la tuberculosis, el cólera, la pasteurelisis, la fiebre tifoidea, el tétanos, la peste, etcétera.

El consumo de agua contaminada puede provocar la aparición de enfermedades de gravedad variable según el estado de salud y la edad de los individuos o las condiciones higiénicas generales. En esta unidad se describen los agentes que alteran la calidad del agua y su relación con la norma oficial mexicana del agua para uso y consumo humano. En virtud de que el primer paso en el diseño de un sistema de abastecimiento es elegir una fuente adecuada de agua, se presentan las características de los tipos de fuentes principales y se describe cómo obtener el agua de ellas a través de las obras de captación. Dado que no se debe permitir que el agua para consumo humano corra en canales abiertos o zanjas para evitar que se contamine, se expone el diseño de líneas de conducción para proteger su calidad.

Capítulo 4

Calidad del agua y normalización

La precipitación en forma de lluvia y granizo contiene muy pocas impurezas. Conforme se forma y cae a través de la atmósfera terrestre puede contener cantidades traza de materia mineral, gases y otras sustancias; sin embargo, no tiene contenido bacteriano.

Una vez que la precipitación alcanza la superficie del terreno, se presentan muchas oportunidades para la introducción de sustancias minerales y orgánicas, microorganismos y otras formas de contaminación. Cuando escurre en la superficie del terreno recoge partículas de suelo; esto se nota en el agua como turbiedad. También recoge partículas de materia orgánica y bacterias. Al infiltrarse el agua en el suelo y a través de los estratos que están sobre el nivel freático, se filtra la mayoría de las partículas suspendidas. Esta filtración natural puede ser efectiva parcialmente en la remoción de bacterias y otros materiales particulados. Sin embargo, las características químicas del agua pueden cambiar y variar ampliamente cuando entra en contacto con depósitos minerales.

La extensión en el uso de compuestos químicos producidos sintéticamente, incluyendo pesticidas e insecticidas, han renovado el interés en el tema de la contaminación del agua. Se sabe que muchos de estos materiales son tóxicos, y otros tienen ciertas características indeseables que interfieren con el uso del agua incluso cuando están presentes relativamente en pequeñas concentraciones. En años recientes se ha advertido la existencia de fuentes de aguas residuales que contienen detergentes sintéticos en cantidades traza. Sin análisis químicos es raro detectar concentraciones de detergentes sintéticos que contengan alkyl benzeno sulfonato (ABS) en cantidades menores a 0.5 mg/l. Si el ABS alcanza la fuente de suministro de agua, otros materiales que pueden ser peligrosos o pueden impartir características indeseables quizá han entrado también.

Los agentes que alteran la calidad del agua conforme ésta se mueve sobre o bajo la superficie de la Tierra pueden clasificarse en cuatro grupos de características: físicas, químicas, biológicas y radiológicas.

1. Físicas

Las características físicas se relacionan con la calidad del agua para uso doméstico y comúnmente se asocian con la apariencia del agua, su color o turbiedad, temperatura y, en particular, sabor y olor.

2. Químicas

Las diferencias químicas entre aguas se hacen evidentes algunas veces al comparar su comportamiento; por ejemplo, las reacciones observadas por aguas duras y blandas en lavandería.

3. Biológicas

Los agentes biológicos son muy importantes por su relación con la salud pública y también pueden ser significativos en la modificación de las características físicas y químicas del agua.

4. Radiológicas

Los factores radiológicos deben considerarse en áreas en las que hay posibilidad de que el agua entre en contacto con sustancias radiactivas; en estos casos la radiactividad del agua es de preocupación para la salud pública.

En el desarrollo del proyecto de un sistema de abastecimiento de agua es necesario examinar cuidadosamente todos los factores que podrían afectar adversamente el uso pretendido de una fuente.

4.1 Características físicas

Para ser adecuada para su uso, el agua debe estar libre de todas las impurezas que son ofensivas a los sentidos de la vista, gusto y olfato. Las características físicas del agua incluyen turbiedad, color, sabor y olor, y temperatura.

Turbiedad

Cuando se suspenden partículas pequeñas en agua, tienden a dispersarse y absorber los rayos de luz, dando al agua un aspecto calinoso llamado *turbiedad*. La arcilla, cieno y fragmentos diminutos de materia orgánica y microorganismos son algunas de las sustancias que causan turbiedad; se encuentran en el agua en forma natural o debido a las actividades humanas y contaminación. La turbiedad es un parámetro particularmente importante de calidad del agua de bebida. Las partículas suspendidas pueden ser un medio para que se oculten microorganismos dañinos sirviéndoles como escudo contra el proceso de desinfección en una planta potabilizadora. Debido a este efecto de blindaje, los microbios pueden ser consumidos por la gente que bebe el agua y ocasionarse la diseminación de la enfermedad.

La turbiedad en el agua para bebida es también inaceptable por razones estéticas, pues hace que el agua no sea apetecible. La mayoría de la gente encuentra objetable incluso un ligero grado de turbiedad en el agua. Puede ser que la arcilla u otras partículas suspendidas inertes en agua de bebida no afecten adversamente la salud; sin embargo, aunque se explique a la ciudadanía que,

no obstante su turbiedad, el agua es segura para beber, tenderán a buscar fuentes alternas (que podrían ser de calidad más pobre).

La unidad de medición es la Unidad de turbiedad (UT) o Unidad de Turbiedad Nefelométrica (UTN). Turbiedades arriba de 5 UT son fácilmente detectables en un vaso de agua y comúnmente son objetables por razones estéticas.

La turbiedad se determina por referencia con una mezcla química que produce una refracción reproducible de luz; se usa una suspensión estandarizada de sílice. La interferencia en el paso de luz causada por una suspensión de 1 mg/l de sílice es equivalente a una *unidad de turbiedad (UT)*. Por ejemplo, una muestra de agua que tiene el mismo grado de opacidad que una suspensión de sílice de 10 mg/l, tiene una turbiedad de 10 UT.

Para interpretar los datos de turbiedad, es útil familiarizarse con los rangos típicos que se presentan. La turbiedad de 5 UT es apenas notoria para el individuo promedio: la mayoría de la gente no tiene queja de la claridad del agua con valores inferiores a 5. Lo que para la mayoría de la gente sería un lago de agua clara puede tener hasta 25 UT. La turbiedad del agua lodosa generalmente excede 100 UT. Las plantas potabilizadoras modernas pueden producir rutinariamente agua cristalina con turbiedad menor a 1 UT.

Comúnmente el agua subterránea tiene muy baja turbiedad debido a la filtración natural que ocurre al percolarse a través del suelo. Después de una lluvia, las variaciones en la turbiedad del agua subterránea pueden considerarse como una indicación de contaminación superficial introducida. La mayoría de los ríos tienen turbiedad relativamente elevada. Esto es particularmente cierto durante y después de una tormenta, que causa la erosión del suelo. El tratamiento de agua turbia de río para el abastecimiento de agua de bebida puede ser un proceso costoso; a mayor turbiedad, mayor será la cantidad de sustancias químicas necesarias y deben limpiarse los filtros con mayor frecuencia.

Para medir la turbiedad del agua después de su tratamiento, se usan instrumentos llamados *nefelómetros*. Estos dispositivos miden electrónicamente la cantidad de luz dispersada y no dependen de la visión humana o juicio para hacer la comparación con las suspensiones estandarizadas. Las mediciones hechas con turbidímetros nefelométricos pueden expresarse en términos de UTN en lugar de sólo UT, lo que indica cómo se hizo la medición.

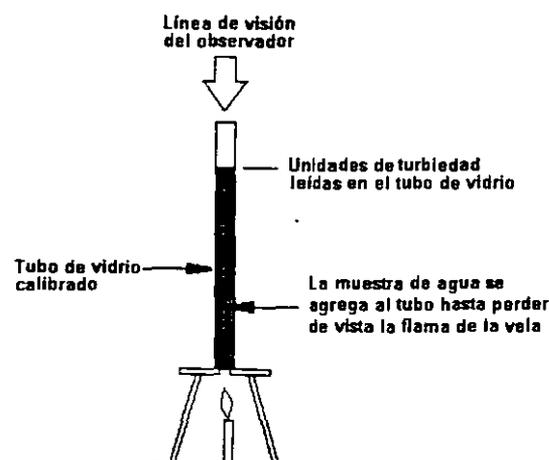


Figura 4.1. Turbidímetro de Jackson

La Figura 4.1 muestra un turbidímetro convencional Jackson. Puede usarse para medir la turbiedad del agua cruda (no tratada). Se agrega agua a un tubo vertical de vidrio hasta que la flama de la vela deja de verse. El tubo de vidrio está graduado en unidades de turbiedad; mientras más alta sea la columna requerida para impedir ver la flama, menor es la turbiedad. Los valores de turbiedad obtenidos usando el turbidímetro de vela, pueden expresarse como UTJ.

Color

El material orgánico disuelto de la vegetación muerta y cierta materia inorgánica produce color en el agua. Ocasionalmente el crecimiento explosivo de algas o de microorganismos acuáticos puede también impartir color. El color no es por sí mismo objetable desde el punto de vista de la salud, sino por razones estéticas, y su presencia sugiere que el agua requiere tratamiento apropiado.

El color se mide comparando la muestra de agua con soluciones estándar de color o discos de vidrio con colores. Una unidad de color es equivalente al color producido por un miligramo por litro de solución de platino. No es práctico aislar e identificar las sustancias químicas específicas que causan color.

Sabor y olor

El sabor y olor en el agua puede ser causado por materia extraña tal como compuestos orgánicos, sales inorgánicas o gases disueltos. Estos materiales pueden provenir de fuentes domésticas, agrícolas o naturales. Las aguas aceptables deben estar libres de cualquier sabor y olor objetable en el punto de uso. El gas sulfhídrico (H_2S) es causa común de olor en fuentes de abastecimiento. El olor a huevo podrido de este gas puede encontrarse en agua que ha estado en contacto con depósitos naturales de materia orgánica muerta. Las fuentes subterráneas tienen algunas veces este problema; los pozos son llamados *pozos de azufre*. El conocimiento concerniente a la calidad química de una fuente de abastecimiento de agua es importante con el fin de determinar, si es necesario, qué tratamiento debe dársele al agua para hacerla aceptable para uso doméstico.

Temperatura

Las aguas para bebida más deseables son frías y no tienen fluctuaciones de temperatura de más de unos cuantos grados. Las aguas subterráneas y superficiales de áreas montañosas generalmente reúnen estos criterios. La mayoría de los individuos encuentran agradable el agua con temperatura entre 10° y $15^{\circ}C$. La temperatura es de poco significado directo en las fuentes de abastecimiento; tiene un papel de mayor importancia en el tratamiento de aguas residuales y en el control de la contaminación del agua.

4.2 Características químicas

La naturaleza de las rocas que forman la corteza terrestre afecta no sólo la cantidad del agua que puede recuperarse sino también sus características. Conforme el agua superficial se infiltra hacia el nivel freático, disuelve porciones de los minerales contenidos en suelos y rocas. De ahí que el agua subterránea puede contener más minerales disueltos que el agua superficial.

Las características químicas del agua de una localidad en particular pueden algunas veces

predecirse del análisis de fuentes de agua adyacentes. En el caso de que esa información no esté disponible, debe realizarse el análisis químico de la fuente de abastecimiento. Muchos laboratorios comerciales tienen la infraestructura para conducir análisis y pueden proporcionar el servicio.

Los análisis químicos del agua para consumo doméstico ordinariamente incluyen la determinación de: dureza, alcalinidad, pH y la presencia de sulfatos y cloruros. En algunas áreas pueden requerirse análisis químicos para conocer si contiene ciertos compuestos de nitrógeno y radicales hierro, manganeso, fluoruros y otras sustancias.

Dureza

La dureza es un término empleado para expresar las propiedades de ciertas aguas muy mineralizadas, es decir, con elevadas concentraciones de sólidos disueltos totales. Estos minerales disueltos causan problemas de incrustación en tuberías de agua caliente y dificultan la producción de espuma con el jabón. En general, lo que hace inaceptable al agua dura son aspectos económicos ya que no tiene efectos adversos a la salud del consumidor.

Los iones calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) causan la mayor proporción de dureza presente naturalmente en el agua. Estos minerales entran en el agua principalmente por su contacto con el suelo y rocas, especialmente depósitos de caliza. En general, el agua subterránea es más dura que el agua superficial debido a que está en contacto con depósitos minerales durante más tiempo.

La dureza se expresa comúnmente en términos de miligramos por litro de carbonato de calcio (CaCO_3). Se considera que el agua con más de 300 mg/l de dureza es dura y con menos de 75 mg/l es blanda. El agua muy blanda es indeseable en los sistemas de abastecimiento públicos porque tiende a incrementar los problemas de corrosión en las tuberías metálicas. Algunas autoridades de salud opinan que puede asociarse con la incidencia de enfermedades cardíacas.

Sodio

Cuando es necesario conocer la cantidad precisa de sodio presente en el agua de suministro, debe hacerse un análisis de laboratorio. Los ablandadores de agua caseros que usan el método de intercambio de iones incrementan la cantidad de sodio. La presencia de sodio en el agua puede afectar a las personas que sufren de padecimientos del corazón, riñón o circulatorios. Cuando se recomienda una dieta estricta libre de sodio, cualquier agua debe ser vista con sospecha.

Hierro

Normalmente están presentes en el agua pequeñas concentraciones de hierro debido a la gran cantidad que existe de este elemento en el suelo. La presencia de hierro en el agua se considera objetable debido a que mancha de color café los muebles sanitarios y afecta el sabor de bebidas como el café y el té, incluso a muy pequeñas concentraciones. Estudios recientes indican que los huevos se echan a perder más rápido cuando se lavan con agua que contiene 10 mg/l de hierro.

Manganeso

El manganeso imparte un color café al agua y ropa que se lava con ella, y da sabor medicinal al café y té.

En el agua subterránea están presentes en solución los iones ferroso (Fe^{2+}) y manganoso (Mn^{2+}); cuando se exponen al aire adquieren las formas insolubles férrico (Fe^{3+}) y mangánico (Mn^{3+}), que hacen al agua turbia e inaceptable para la mayoría de las personas.

Cobre

El cobre se encuentra en algunas aguas naturales, particularmente en áreas donde se han explotado estos depósitos minerales. En pequeñas cantidades el cobre no es tóxico y de hecho es benéfico y esencial para la salud humana; sin embargo, imparte un sabor desagradable al agua.

Zinc

El zinc se encuentra en algunas aguas naturales, particularmente en áreas donde han sido explotados estos depósitos minerales. No se considera que el zinc sea dañino para la salud, pero imparte un sabor desagradable al agua y en concentración grande le da al agua un aspecto lechoso.

Fluoruros

En algunas áreas, las fuentes de agua contienen fluoruro por causa natural. Cuando las concentraciones se aproximan a niveles óptimos, se han observado efectos benéficos. En tales áreas, la incidencia de caries dental se ha encontrado que es menor que en áreas sin fluoruro. El nivel óptimo de fluoruro para un área dada depende del clima local, dado que influye en gran medida en la cantidad de agua que la gente bebe. Se recomiendan concentraciones óptimas de 0.7 a 1.2 mg/l. Los fluoruros en exceso en los abastecimientos de agua pueden producir fluorosis (manchado) de los dientes, que se incrementa conforme se excede el nivel óptimo de fluoruro. Existe un pequeño margen de error entre los niveles benéficos y los que causan fluorosis.

Cloruro

Los cloruros (Cl^-) presentes en el agua dulce no causan ningún efecto perjudicial a la salud pública. La mayoría de las aguas contienen algo de cloruro en solución. La cantidad presente puede ser causada por la lixiviación de depósitos sedimentarios marinos o por contaminación con agua de mar, salmuera o desechos industriales y domésticos. La presencia de concentraciones de cloruros de aproximadamente 500 mg/l o mayores en el agua dulce, puede ser un indicador de contaminación con aguas residuales. La sal (NaCl) usada en los alimentos, es excretada en los desechos humanos y el agua residual transporta estos cloruros hacia los cuerpos receptores. La intrusión salina en los pozos es un problema en las áreas costeras. Las concentraciones de cloruro que exceden aproximadamente 250 mg/l comúnmente producen un sabor notorio en el agua de bebida. El agua doméstica debe contener menos de 100 mg/l de cloruro. En algunas áreas, podría ser necesario usar agua con un contenido de cloruro mayor de 100 mg/l. En estos casos deben reunirse todos los otros criterios de pureza del agua.

Sulfato

Las aguas que contienen concentración grande de sulfato, causada por la lixiviación de depósitos naturales de sulfato manganoso o sulfato de sodio, pueden ser indeseables por sus efectos laxantes, pero no existe peligro significativo a la salud pública por los sulfatos.

Nitrato

El nitrato (NO_3^-) ha causado metahemoglobinemia (cianosis infantil o "enfermedad del bebé azul") en los infantes de menos de tres meses de edad que han bebido agua o fórmulas preparadas con agua que contiene concentración grande de nitrato. Los iones nitrato reaccionan con la hemoglobina reduciendo la habilidad de la sangre para transportar oxígeno. El nitrato en exceso de la concentración normal, comúnmente en pozos someros, puede ser un indicador de escurrimiento proveniente de depósitos de estiércol de ganado. El nitrato puede entrar al agua subterránea por los fertilizantes artificiales usados en las áreas agrícolas. Cuando se sospecha la presencia de alta concentración de nitrato, debe asegurarse el asesoramiento de las autoridades sanitarias.

Sustancias tóxicas inorgánicas

En el agua pueden estar presentes sustancias tóxicas inorgánicas y orgánicas en muy pequeñas cantidades o traza. Incluso en cantidades pequeñas pueden constituir un peligro para la salud pública. Algunas sustancias tóxicas provienen de fuentes naturales, pero muchas otras provienen de las actividades industriales. Una sustancia química tóxica puede ser venenosa y causar la muerte o una enfermedad que no es notoria sino hasta muchos años después de su exposición. Una sustancia carcinogénica causa cáncer; las sustancias mutagénicas causan efectos perjudiciales en la descendencia de la gente expuesta.

Algunos *metales pesados* que son tóxicos son: arsénico (As), bario (Ba), cadmio (Cd), cromo (Cr), cianuros (CN), plomo (Pb), mercurio (Hg), selenio (Se) y plata (Ag).

La exposición del cuerpo al plomo, aunque sea breve, puede causar serios daños a la salud. La exposición prolongada a cantidades relativamente pequeñas puede causar seria enfermedad o la muerte. El plomo tomado en cantidades que exceden ciertos límites "normales" relativamente bajos es un veneno acumulativo.

4.3 Características biológicas

El agua para beber y cocinar debe estar libre de microorganismos causantes de enfermedades (*patógenos*). Estos microorganismos incluyen bacterias, protozoarios, virus y helmintos (gusanos).

Algunos microorganismos que causan enfermedad en la gente se originan con la descarga fecal de individuos infectados. Por esta razón, es necesario ejercer precauciones contra la contaminación de una fuente de abastecimiento normalmente segura o aplicar métodos de tratamiento que produzcan un agua segura.

Desafortunadamente, los microorganismos específicos presentes en el agua, causantes de enfermedades, no son fácilmente identificables. Las técnicas de análisis bacteriológico son complejas y consumidoras de tiempo. Ha sido necesario desarrollar pruebas que indiquen el

grado relativo de contaminación en términos de una cantidad definida fácilmente. La prueba usada más ampliamente consiste en la estimación del número de bacterias del *grupo coliforme*, que está siempre presente en los desechos fecales y que son más numerosos que los microorganismos causantes de enfermedades. El grupo coliforme habita normalmente el tracto intestinal de la gente, pero también se encuentran en la mayoría de los animales domésticos y aves, así como en ciertas especies salvajes.

Ciertas formas de vegetación acuática y vida animal microscópica del agua natural pueden ver estimulado o retardado sus ciclos de crecimiento por factores físicos, químicos y biológicos. Por ejemplo, el crecimiento de algas (diminutas plantas verdes) es estimulado por la luz, calor y la presencia de bióxido de carbono de la respiración de animales, o por descomposición orgánica. Por otra parte, el crecimiento de algas puede ser retardado por cambios en pH, la presencia de impurezas inorgánicas, la reducción de luz y la presencia de ciertas especies bacterianas.

Ciclos continuos de crecimiento y decaimiento del material celular algal puede causar la producción de subproductos nocivos que pueden afectar adversamente la calidad del agua de abastecimiento. Los mismos comentarios generales pueden hacerse con respecto a los ciclos de crecimiento de ciertas bacterias no patógenas o microcrustáceos que habitan en las aguas naturales.

Una fuente de agua debe estar tan libre de actividad biológica como sea posible. La actividad biológica puede ser evitada o mantenida al mínimo:

1. Seleccionando fuentes de abastecimiento que normalmente no soporten mucha vida vegetal o animal.
2. Protegiendo la fuente contra contaminación subsecuente por agentes biológicos.
3. Minimizando la entrada de materiales fertilizantes tales como materia orgánica y minerales comerciales.
4. Controlando la luz y temperatura del agua almacenada.
5. Proporcionando tratamiento para la destrucción de vida biológica o sus subproductos.

Exámenes bacteriológicos

Las aguas tratadas impropriadamente, o sin protección sanitaria, pueden contener microorganismos patógenos. Las bacterias coliformes que, de por sí, no son patógenas, se asocian, a menudo, con los organismos patógenos y son un buen índice del grado de seguridad bacteriológica de un agua. Las bacterias coliformes se encuentran, normalmente, en los intestinos de los seres humanos y de otros animales de sangre caliente, por lo que se decargan en gran número en las heces humanas o animales. En aguas contaminadas, las bacterias coliformes se encuentran en densidades que son toscamente proporcionales al grado de contaminación fecal. Cuando se tienen presentes miembros del grupo coliforme, también se pueden encontrar otras clases de microorganismos capaces de producir enfermedades.

Las bacterias coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas o productoras de enfermedades; por lo tanto, si se encuentran ausentes del agua, hay una indicación de que el agua es bacteriológicamente segura para el consumo humano. Por otra parte, la presencia de bacterias coliformes es una indicación de que se pueden encontrar presentes también bacterias patógenas y de que el agua para bebida es insegura.

El grupo coliforme incluye a todas las bacterias en forma de bastoncillos que son aerobias o anaerobias facultativas, Gram negativas, no esporógenas, que fermentan la lactosa con producción de gas en un medio de cultivo prescrito, dentro de las 48 horas, a 35°C.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano, estipula que los miembros del grupo coliforme son los indicadores oficiales de la calidad bacteriológica del agua. Para los exámenes bacteriológicos de aguas se aceptan dos métodos: el método de los filtros de membrana y el método de los tubos múltiples de fermentación.

En el método de filtro de membrana, a través de un filtro se hace pasar, bajo un vacío, un volumen medido de agua; la Figura 4.2 muestra unidades de filtración de diversos diseños. A continuación se coloca el filtro en un recipiente estéril y se incuba en contacto con un medio de cultivo, selectivo y diferencial. En cada punto del filtro en el que, durante la filtración, se capta una bacteria coliforme, se desarrolla una colonia de bacterias coliformes. Se enumeran las colonias, practicándose un cálculo simple para determinar el número de bacterias coliformes en 100 ml de muestra.

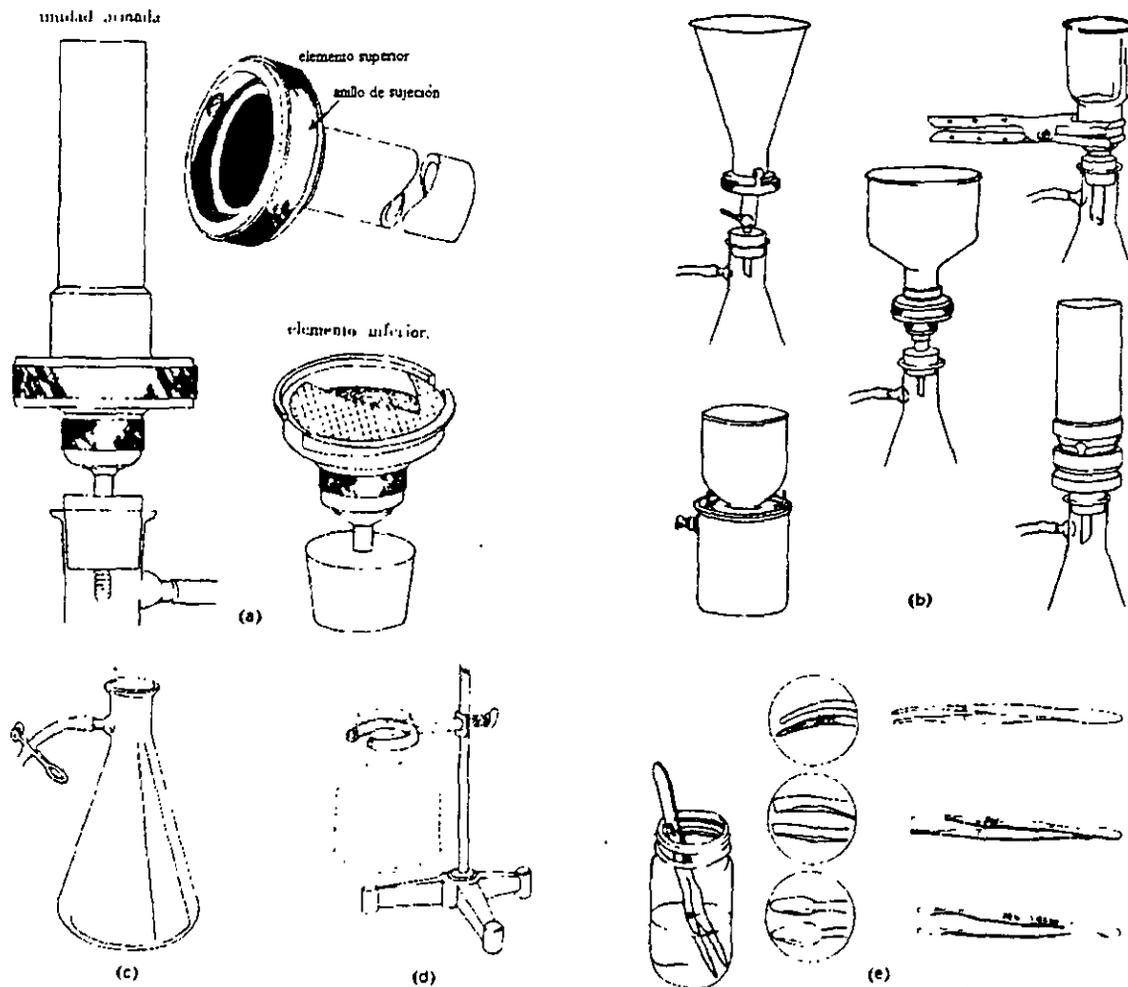


Figura 4.2. Elementos de la unidad de filtración; b) unidades de filtración de diversos diseños; c) matraz de filtración al vacío; d) soporte con anillo abierto; e) tipos adecuados de pinzas.

4.4 Radiación

El desarrollo y uso de la energía atómica como fuente de energía y la minería de materiales radiactivos han hecho necesario establecer concentraciones límite para la entrada en el cuerpo de sustancias radioactivas, incluyendo el agua de consumo humano.

Los efectos de la exposición humana a la radiación o materiales radiactivos son dañinos y debe evitarse cualquier exposición innecesaria. Los humanos siempre han estado expuestos a la radiación natural del agua, alimento y aire. La cantidad de radiación a la que un individuo está expuesto normalmente varía con la cantidad de radiactividad de fondo. Agua con alta radiactividad no es normal y está confinada en alto grado a las áreas en donde se localizan las industrias nucleares.

La unidad de radiactividad usada en aplicaciones de calidad del agua es el picocurie por litro (pCi/l); 1 pCi es equivalente a aproximadamente la desintegración de dos átomos por minuto.

4.5 Estándares y normas de calidad del agua para consumo humano

Los estándares para agua potable han evolucionado a través de los años conforme al aumento del conocimiento de la naturaleza y efectos de varios contaminantes. Actualmente se considera deseable que el agua para consumo humano esté libre de sólidos suspendidos y turbiedad, de sabor y olor, que los sólidos inorgánicos disueltos estén en cantidades moderadas y que estén ausentes las sustancias orgánicas tóxicas y los microorganismos patógenos. La Organización Mundial de la Salud ha establecido criterios mínimos para el agua de bebida que todas las naciones están comprometidas a cumplir. Estos estándares se listan en el Cuadro 4.1. Los países tecnológicamente más avanzados generalmente tienen normas que exceden la calidad de estos estándares.

En México, la Ley General de Salud dispone que corresponde a la Secretaría de Salud "emitir las normas a que deberá sujetarse el tratamiento del agua para uso y consumo humano" (artículo 118, fracción II), añadiendo que a la misma Secretaría y a los gobiernos de las entidades federativas les corresponde "vigilar y certificar la calidad del agua para uso y consumo humano" (artículo 119, fracción II).

Por norma se entiende el conjunto de reglas científicas o tecnológicas de carácter obligatorio, emitidas por la Secretaría de Salud, que establezcan los requisitos que deban satisfacerse en la organización y prestación de servicios.

En lo que concierne al agua potable, la Secretaría de salud emitió la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 relativa al agua para uso y consumo humano, que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. En el Apéndice A se reproduce íntegramente la norma; a continuación se presenta un resumen de los aspectos que se consideraron más importantes para este capítulo.

La norma es aplicable a todos los sistemas de abastecimiento públicos y privados y a cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

De acuerdo con esta norma, se entiende por agua potable o agua para uso y consumo humano aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que

no causa efectos nocivos para la salud.

Cuadro 4.1. Estándares del agua para consumo humano de la Organización Mundial de la Salud

| CONSTITUYENTE QUÍMICO | OMS INTERNACIONAL (1958) | | | OMS EUROPEA (1961) | |
|-------------------------------------|--------------------------|------------------|---------------|--------------------|-----------------|
| | LÍMITE PERMISIBLE | LÍMITE EN EXCESO | LÍMITE MÁXIMO | LÍMITE RECOMENDADO | LÍMITE TOLERADO |
| Amoniaco | - | - | - | 0.5 | - |
| Arsénico | - | - | 0.2 | - | 0.2 |
| Cadmio | - | - | - | - | 0.05 |
| Calcio | 75 | 200 | - | - | - |
| Cloruro | 200 | 600 | - | 350 | - |
| Cromo (hexavalente) | - | - | 0.05 | - | 0.05 |
| Cobre | 1.0 | 1.5 | - | 3.0 [*] | - |
| Cianuro | - | - | 0.01 | - | 0.01 |
| Fluoruro | - | - | - | 1.5 | - |
| Hierro | 0.3 | 1.0 | - | 0.1 | - |
| Plomo | - | - | 0.1 | - | 0.1 |
| Magnesio | 50 | 150 | - | 125 ^{**} | - |
| Magnesio + sulfato de sodio | 500 | 1000 | - | - | - |
| Manganeso | 0.1 | 0.5 | - | 0.1 | - |
| Nitrato (como NO ₃) | - | - | - | 50 | - |
| Oxígeno disuelto (mínimo) | - | - | - | 5.0 | - |
| Compuestos fenólicos (como fenoles) | 0.001 | 0.002 | - | 0.001 | - |
| Selenio | - | - | 0.05 | - | 0.05 |
| Sulfato | 200 | 400 | - | 250 | - |
| Sólidos totales | 500 | 1500 | - | - | - |
| Zinc | 5.0 | 15 | - | 5.0 | - |

* Después de 16 hr de contacto con tuberías nuevas, pero el agua que entra a la red de distribución debe tener menos de 0.05 mg/l de cobre.

** Si hay 250 mg/l de sulfato presente, el magnesio no debe exceder 30 mg/l

Las características microbiológicas son las debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y *Escherichia coli* o coliformes fecales.

Las características físicas y organolépticas son las que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

Las características químicas son las debidas a elementos o compuestos químicos, que como

resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

Las características radiactivas son las resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

Se entiende por límite permisible la concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

4.5.1 Límites permisibles de calidad del agua

Límites permisibles de características microbiológicas

El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en el Cuadro 4.2.

Cuadro 4.2

| CARACTERÍSTICA | LÍMITE PERMISIBLE |
|---|---------------------------|
| Organismos coliformes totales | ausencia o no detectables |
| E. coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes | ausencia o no detectables |

En la norma se expresa que bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes podrán establecer los agentes biológicos nocivos a la salud que se deban investigar. También se establece que el agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener E.coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes en ninguna muestra de 100 ml. Los organismos coliformes totales no deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml; en sistemas de abastecimiento de localidades con una población mayor de 50 000 habitantes, estos organismos, deberán estar ausentes en el 95% de las muestras tomadas durante cualquier periodo de doce meses.

Límites permisibles de características físicas y organolépticas

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3

| CARACTERÍSTICA | LÍMITE PERMISIBLE |
|----------------|---|
| Color | 20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto. |
| Olor y sabor | Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico). |
| Turbiedad | 5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método. |

Límites permisibles de características químicas

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en el Cuadro 4.4. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

Cuadro 4.4

| CARACTERÍSTICA | LÍMITE PERMISIBLE |
|---|-------------------|
| Aluminio | 0.20 |
| Arsénico | 0.025 |
| Bario | 0.70 |
| Cadmio | 0.005 |
| Cianuros (como CN ⁻) | 0.07 |
| Cloro residual libre | 0.2-1.50 |
| Cloruros (como Cl ⁻) | 250.00 |
| Cobre | 2.00 |
| Cromo total | 0.05 |
| Dureza total (como CaCO ₃) | 500.00 |
| Fenoles o compuestos fenólicos | 0.001 |
| Fierro | 0.30 |
| Fluoruros (como F ⁻) | 1.50 |
| Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l | |
| Benceno | 10.00 |
| Etilbenceno | 300.00 |
| Tolueno | 700.00 |
| Xileno (tres isómeros) | 500.00 |
| Manganeso | 0.15 |
| Mercuro | 0.001 |
| Nitratos (como N) | 10.00 |
| Nitritos (como N) | 1.00 |
| Nitrógeno amoniacal (como N) | 0.50 |
| pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH | 6.5-8.5 |
| Plaguicidas en microgramos/l | |
| Aldrin y dieldrin (separados o combinados) | 0.03 |
| Clordano (total de isómeros) | 0.20 |
| DDT (total de isómeros) | 1.00 |
| Gamma-HCH (lindano) | 2.00 |
| Hexaclorobenceno | 1.00 |
| Heptacloro y epóxido de heptacloro | 0.03 |
| Metoxicloro | 20.00 |
| 2,4 - D | 30.00 |
| Plomo | 0.01 |
| Sodio | 200.00 |
| Sólidos disueltos totales | 1000.00 |
| Sulfatos (como SO ₄ ⁼) | 400.00 |
| Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) | 0.50 |
| Trihalometanos totales | 0.20 |
| Zinc | 5 |

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos. El límite permisible se ajustará anualmente, de conformidad con el Cuadro 4.5 de cumplimiento gradual.

Cuadro 4.5

| Límite permisible mg/l | Año |
|---------------------------|------|
| 0,045 | 2001 |
| 0,04 | 2002 |
| 0,035 | 2003 |
| 0,03 | 2004 |
| 0,025 | 2005 |

Límites permisibles de características radiactivas

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en el Cuadro 4.6. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

Cuadro 4.6

| CARACTERÍSTICA | LÍMITE PERMISIBLE |
|---------------------------|-------------------|
| | Bq/l |
| Radiactividad alfa global | 0.56 |
| Radiactividad beta global | 1.85 |

Actividades de los alumnos para realizar por su cuenta.

Preguntas y problemas propuestos

1. Relacione los parámetros de calidad del agua de la columna izquierda con los posibles efectos listados en la derecha.

| | |
|-------------------------------|---|
| () Turbiedad | (a) Causa disentería |
| () Sólidos disueltos totales | (b) Interfiere con la desinfección |
| () Oxígeno disuelto | (c) Asfixia a los peces |
| () Hierro | (d) Causa crecimiento explosivo de algas |
| () Fluoruro | (e) Es tóxico a los humanos |
| () Fósforo | (f) Previene la caries dental |
| () Coliformes fecales | (g) Puede causar cáncer |
| () Plomo | (h) Incrementa la corrosión |
| () Trihalometanos (THM) | (i) Indica contaminación con aguas residuales |
| | (j) Causa problemas de olor en el agua |

2. ¿Cuál es el significado de los términos UTJ y UTN?
3. Describa brevemente la importancia de la temperatura en la calidad del agua.
4. Investigue y describa cómo puede medirse el olor y sabor en el agua.
5. ¿Cuál es la diferencia entre agua dura y agua blanda? ¿Es aconsejable remover toda la dureza del agua para consumo humano?
6. Las concentraciones grandes de fluoruro en el agua para consumo humano ¿son benéficas o perjudiciales para la salud pública? ¿Por qué?
7. Si una muestra de agua de río tuviera una concentración inusualmente grande de cloruro, ¿qué podrías concluir acerca de su calidad? Investiga y describe la diferencia entre cloro residual y cloruro en el agua.
8. ¿Cuáles son los efectos de los sulfatos en el agua?
9. Investiga y describe la importancia del fósforo y nitrógeno para la calidad del agua.
10. Investiga y describe brevemente las características básicas de bacterias, algas y protozoarios. Proporciona un ejemplo de especie de cada grupo.
12. ¿Cuáles son los organismos indicadores usados para evaluar la calidad sanitaria del agua?
13. Si no se detectan bacterias coliformes en una muestra de agua, ¿qué puedes concluir acerca de la posibilidad de reciente contaminación con aguas residuales? Si se detectan coliformes, ¿el agua definitivamente causará enfermedad entre las personas que la beban?
14. Describe brevemente el método de filtro de membrana para determinar la cuenta de coliformes en una muestra de agua. ¿Cuál es la premisa básica que fundamenta este método?

Capítulo 5

Fuentes de abastecimiento

El primer paso en la planeación de un sistema de abastecimiento es elegir la fuente de agua adecuada. En este capítulo se describen los principales tipos de fuentes y en los siguientes capítulos se expone en detalle la forma de obtener el agua de ellas.

La fuente debe suministrar suficiente cantidad de agua para la comunidad, si no es así, se requerirá otra fuente, o quizá varias. En el medio rural la purificación de agua insegura puede ser costosa y requerir personal capacitado; por esta razón, en estos casos *será mucho mejor usar una fuente que proporcione agua pura naturalmente*, y luego protegerla de la contaminación. Si la fuente existente empleada por la comunidad está contaminada, todavía podría mejorarse la obra de captación para hacerla adecuada para el nuevo sistema de abastecimiento.

Cuando el agua cae como lluvia, transita ya sea como corriente o a través del suelo, hacia los ríos que la conducen al mar. El agua de corrientes y ríos es llamada *agua superficial*, y el agua que fluye hacia el interior del suelo o emerge en manantiales es llamada *agua subterránea*.

Puede colectarse agua de lluvia relativamente pura de los tejados de edificios, si están limpios. Sin embargo, la colección del agua de lluvia como única fuente es sólo adecuada en regiones con lluvia confiable todo el año, o donde no se dispone de otras fuentes, debido a que las obras de almacenamiento individual para cada casa de la localidad podrían ser costosas.

Generalmente, el agua subterránea también es pura debido a que se filtra conforme fluye a través del subsuelo. Cuando el agua subterránea está a menos de 20 m de profundidad, comúnmente fluye colina abajo en la misma dirección que escurre el agua sobre la superficie del terreno, y puede transportar contaminantes con ella a cierta distancia. Por ello, la obra de captación del agua subterránea (el pozo o la caja del manantial), debe estar tan lejos como sea posible (al menos 30 m) de las concentraciones de bacterias patógenas como letrinas y tanques sépticos, especialmente los localizados colina arriba de la obra. Particularmente en algunos tipos de roca, como la caliza, el agua fluye a través de las grietas y fisuras y al hacerlo no se filtra. El agua subterránea presente en estas rocas puede acarrear contaminantes más allá de 30 m; lo mismo sucede en suelos de grava gruesa.

En la mayoría de las áreas existe en el subsuelo un nivel debajo del cual el agua satura el suelo, mientras que arriba de él hay sólo algo de humedad; se denomina *nivel freático*, y el agua subterránea sólo puede ser extraída debajo de él. En ciertos tipos de subsuelo, como arcilla o roca fisurada, el nivel del agua puede variar de uno a otro lugar porque el material que lo forma es relativamente impermeable y no permitirá que el agua pase a través de él.

La fuente ideal de agua subterránea es un manantial, donde el agua aflora en la superficie del terreno. Se requerirá entonces proteger al agua de la contaminación por bacterias patógenas. Algunos manantiales se secan en ciertas épocas y es importante elegir manantiales que tengan suficiente caudal durante todo el año. Los habitantes de la localidad saben mucho de los manantiales de su región y generalmente están dispuestos a guiar al ingeniero para que conozca los mejores. El ingeniero debe verificar que cualquier manantial que desee usar sea realmente un manantial y que no está contaminado, pues podría suceder que fuera agua que se sume en el suelo o en las grietas de las rocas, aguas arriba del afloramiento.

Si no existen manantiales cercanos, la siguiente alternativa es generalmente elevar el agua subterránea, usando un pozo.

En algunos lugares el agua subterránea puede estar demasiado profunda, o puede contener sales que la hacen inadecuada para la bebida. Entonces puede ser necesario usar aguas superficiales de ríos o presas. Excepto en áreas con población muy dispersa, estas fuentes están expuestas a contaminación seria y requieren tratamiento antes de ser seguras para el consumo humano.

El proceso de selección de una fuente de abastecimiento puede ser muy complicado ya que depende de muchos aspectos de las condiciones locales. La Figura 5.1 ilustra el proceso para la selección de la fuente de abastecimiento de un sistema pequeño, mediante un diagrama de flujo que sugiere la forma de aproximarse correctamente a la solución del problema, pero no debe seguirse rigidamente.

Cuando se ha decidido la fuente a usar, debe confirmarse que puede proporcionar suficiente agua para la comunidad a servir, esto es, verificar su rendimiento, y probar su calidad.

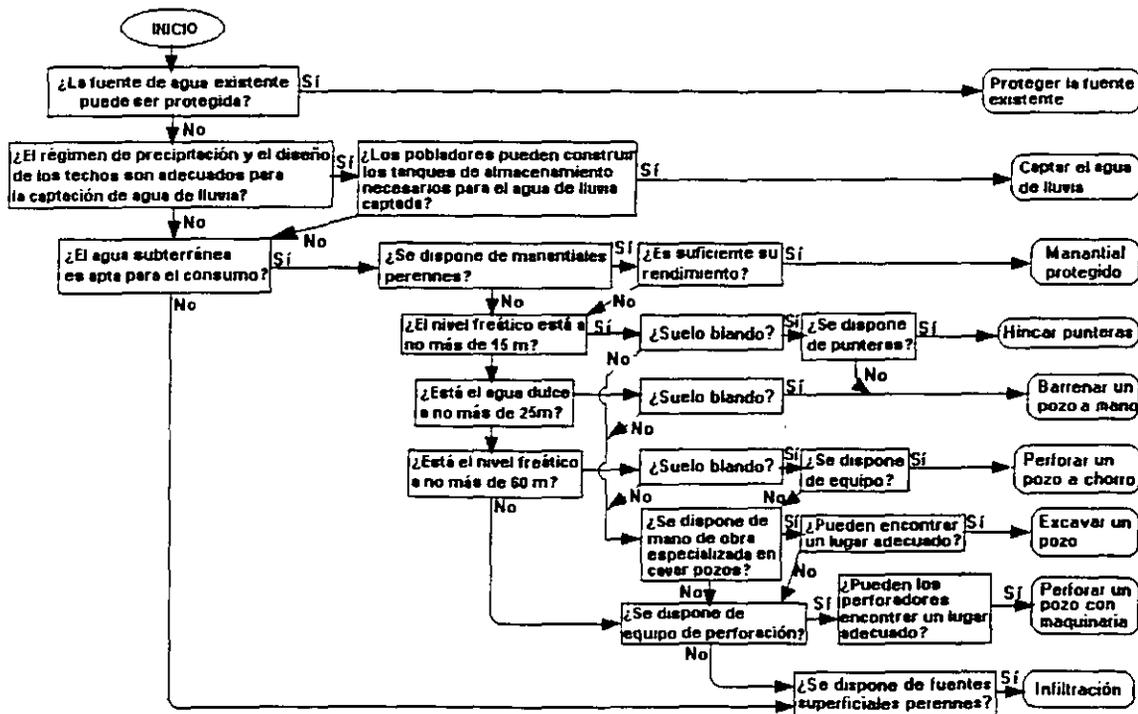


Figura 5.1. Diagrama de flujo para la selección de una fuente de abastecimiento

5.1 Aguas superficiales

La dilución repentina de un río a causa de una fuerte lluvia puede ser un factor desorganizador en una planta potabilizadora. La ubicación de la obra de captación de un río debe escogerse con cuidado considerando este problema. En la operación de una planta es práctica común ajustar las dosificaciones de las sustancias químicas de acuerdo con la calidad del agua efluente. Sin embargo, hay muchas fuentes de agua tan variables que es necesario basar los procesos de tratamiento en las características del agua antes de ser tratada. Esto impone dificultades a los operadores de la planta, por lo que se requiere atención constante en el análisis y control.

Las mareas crean otra influencia importante sobre la calidad del agua superficial puesto que hacen disminuir, y a veces invierten, el flujo normal del río. Esto es particularmente notorio durante la época de estiaje. El cambio en la calidad del agua entre la marea alta y la baja justifica algunas veces la construcción de tanques de agua antes de ser tratada, para recibir el agua durante la marea baja cuando el río fluye sin impedimentos y la calidad del agua es la mejor. Las plantas equipadas de esta manera suspenden el bombeo durante la marea alta cuando las aguas salinas de la bahía se mueven a contracorriente cauce arriba.

Otra característica de las aguas superficiales es el cambio de la temperatura durante las estaciones. Esto complica el tratamiento y afecta en particular el proceso de coagulación durante el invierno. Las bajas temperaturas también crean problemas con tapones de aire en los filtros debido al aumento en la solubilidad de los gases y a la mayor viscosidad del agua. Esto causa un aumento de la caída de presión a través de los lechos de filtración, liberando gases, y destruyendo de esta forma el flujo.

Cuando los contaminantes son biodegradables, la actividad bacteriana en la corriente aumenta con la carga contaminante, tendiendo a reducir el nivel de oxígeno disuelto en la corriente; sin embargo, se tienen factores que equilibran el fenómeno. El principal es la presencia de algas en la corriente; las algas producen oxígeno durante la fotosíntesis en el día, causando con frecuencia una sobresaturación en los días brillantes y soleados, cayendo durante la noche, cuando el proceso se restringe. Este ciclo diurno afecta no sólo al oxígeno disuelto, sino también al bióxido de carbono y por lo tanto al pH. Esto puede tener una fuerte influencia sobre la coagulación de una fuente de agua en la planta potabilizadora.

Es poco usual encontrar niveles elevados de hierro en las aguas superficiales, excepto cuando la fuente de agua tiene fuerte color y un pH relativamente bajo. En este caso, el hierro está formando un complejo con la materia orgánica y produce el color.

Cuando se construye una presa en un río, la calidad del agua puede ser muy diferente de la corriente en movimiento. El agua que se encuentra detrás de la presa toma las características de un lago. En las presas profundas es común encontrar estratificación, con una escasez de oxígeno en el fondo, una zona estancada y el desarrollo de niveles significativos de hierro y manganeso en las aguas del fondo, aun cuando en la superficie se mantenga libre de estos metales.

A partir de las corrientes en movimiento y de los ríos, el agua se puede difundir en las corrientes subterráneas cuando el nivel del agua que está alrededor es bajo; o el agua puede entrar al río a partir de estas corrientes cuando el nivel del agua está alto. Esto también influye en la composición química, sobre todo la del hierro y manganeso en ciertas corrientes.

La calidad del agua en los estuarios donde los ríos se unen al mar es impredecible, y depende del flujo del río, las condiciones de las mareas, el tamaño de la cuenca o bahía y la presencia o ausencia de formaciones terrestres que restrinjan el flujo hacia el mar. En las barras grandes el agua, aunque salina, es de composición relativamente uniforme debido al mezclado de las aguas profundas por el viento; pero en las bahías pequeñas, la calidad puede cambiar con las mareas y el flujo del río. Es uno de los milagros de la naturaleza que la vida acuática se adapte a estos cambios y florezca en estas zonas de marea. Aun cuando no puede ser utilizada por los animales terrestres, esta agua y la de mar es una fuente valiosa de agua para la industria y se emplea ampliamente para enfriamiento.

La composición del agua lacustre cambia con las estaciones, y algunas veces lo hace diariamente según las condiciones del tiempo. Aunque los componentes minerales disueltos principales pueden no ser afectados en forma importante por las estaciones y el clima, factores como el oxígeno disuelto, temperatura, sólidos suspendidos, turbiedad y bióxido de carbono pueden cambiar debido a la actividad biológica.

Otra característica de las aguas de los lagos, generalmente de temporada y relacionada con la actividad biológica, es el sabor y olor. Excepto en los casos en que estos son introducidos por las descargas de agua de desecho, por lo general se deben a la materia orgánica, como los aceites esenciales producidos por el crecimiento de las algas.

5.2 Aguas subterráneas

Los depósitos subterráneos constituyen una fuente principal de agua dulce. El agua profunda se suele mover muy lentamente. Su velocidad se mide en metros por año en comparación con las corrientes superficiales, cuyas velocidades se dan en metros por segundo. Debido a esto, la composición del agua de cualquier pozo es por lo general bastante constante. Aunque los pozos poco profundos pueden variar estacionalmente en su temperatura, la mayor parte de los pozos también mantienen constante su temperatura, generalmente en el rango de 10 a 16°C. Puesto que el agua ha pasado a través de metros de formaciones rocosas porosas, invariablemente está clara si el pozo se ha perforado adecuadamente para evitar que la arena fina entre en el recubrimiento.

Puesto que la composición está relacionada con la química de las formaciones geológicas a través de las cuales haya pasado el agua, las aguas de los pozos perforados en diferentes estratos tienen características diferentes. Algunos mantos acuíferos son tan grandes que pueden cubrir varios estados en el área total, y los pozos perforados en un manto acuífero particular producen agua de composición similar.

Al filtrarse el agua a través del suelo, los organismos presentes en la tierra consumen el oxígeno disuelto y producen bióxido de carbono, uno de los principales agentes corrosivos en la disolución de minerales de las estructuras geológicas. Es común encontrar hierro y manganeso en las aguas que carecen de oxígeno si éstas han estado en contacto con minerales que contienen hierro. Los pozos profundos que contienen oxígeno están generalmente libres de hierro.

La extracción del agua subterránea puede traer como consecuencia el hundimiento del suelo. En algunas áreas, la constante extracción puede traer como resultado la entrada del agua de mar hacia tierra, fenómeno conocido como *intrusión salina*.

El Cuadro 5.1 presenta las principales diferencias entre las fuentes de agua superficial y subterránea.

Cuadro 5.1
Principales diferencias entre aguas superficiales y subterráneas

| CARACTERÍSTICA | AGUA SUPERFICIAL | AGUA SUBTERRÁNEA |
|----------------------------------|--|--|
| Temperatura | Variable según las estaciones. | Relativamente constante. |
| Turbiedad, materia en suspensión | Variable, a veces elevada. | Baja o nula. |
| Hierro y manganeso | Generalmente ausente, excepto en el fondo de los cuerpos de agua en estado de eutroficación. | Generalmente presentes. |
| Gas carbónico agresivo | Generalmente ausente | Normalmente ausente o muy bajo |
| Amoniaco | Presente sólo en aguas contaminadas recientemente con aguas residuales | Presente frecuentemente sin ser índice de contaminación. |
| Sulfhídrico | Ausente | Normalmente presente |
| Sílice | Contenido moderado | Contenido normalmente elevado |
| Elementos vivos | Bacterias, virus, plancton | Ferrobacterias |
| Oxígeno disuelto | Normalmente próximo a la saturación | Normalmente ausente o muy bajo |

5.3 Aforo del rendimiento de una fuente de abastecimiento

Cuando se selecciona una fuente de abastecimiento el ingeniero debe asegurarse de que proveerá el agua necesaria para satisfacer el gasto de diseño, aforando su *rendimiento*. Recuérdese que la mayoría de las fuentes de abastecimiento fluyen muy lentamente durante la temporada de estiaje. Se recomienda medir el flujo hacia el final de dicha temporada o al menos después de un periodo sin mucha precipitación. Algunos manantiales en los que fluye el agua poderosamente después de la lluvia son los primeros en decaer en la temporada de estiaje. No se requiere efectuar medidas precisas. Si una fuente apenas proporciona el agua necesaria, probablemente significa que no será suficiente a largo plazo, por lo que debe considerarse un margen de seguridad amplio. Si se trata de un manantial, es útil preguntar a los pobladores cercanos con qué frecuencia se ha secado en el pasado.

5.3.1 Manantiales

Para aforar un manantial es necesario reunir toda el agua que aflora, quizá con una pequeña represa de tierra. En algunos casos, se observará que el agua del manantial derrama de un pequeño estanque. Si el caudal es muy pequeño, debe tratarse de extraer un volumen medido descargándolo del estanque en una cubeta, y midiendo el tiempo que tarda en llenarse de nuevo. De otro modo, se requeriría medir todo el flujo que pase a través de la cortina con un tubo, como se muestra en la Figura 5.2, o si el flujo es muy grande, empleando varios tubos. En este caso, se mide el flujo de cada uno y se suman para obtener el total.

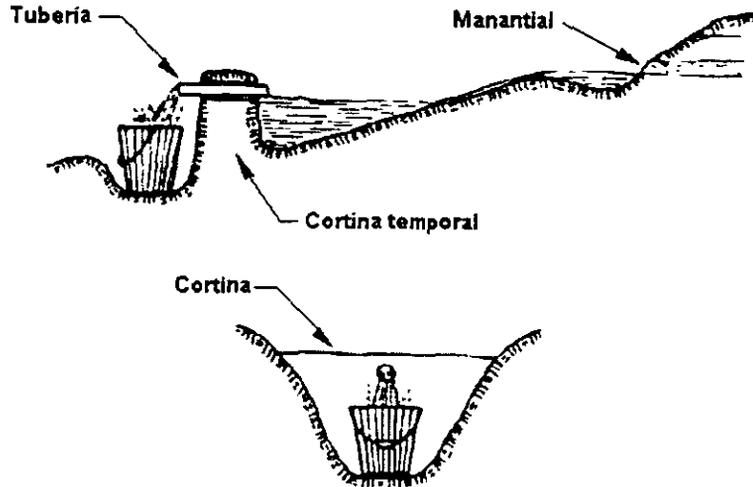


Figura 5.2. Medición del gasto de un manantial usando un tubo y una cortina de tierra temporal.

El método más simple para medir el gasto de un tubo es observar cuánto tiempo toma llenar una cubeta de volumen conocido. Si toma menos de 5 segundos, debe emplearse una cubeta de mayor capacidad, dividir el gasto con varios tubos, o usar otro método. Puede medirse el volumen de agua que la cubeta retiene pesándola vacía y llena, calculando por diferencia el peso del agua. Un litro de agua pesa 1 kg. Se mide el tiempo que toma llenar la cubeta tres veces y se obtiene el promedio. El gasto en litros por segundo es entonces el volumen de la cubeta en litros, dividido por el tiempo en segundos.

Otro método es usar un vertedor triangular. La Figura 5.3 muestra cómo puede hacerse una escotadura en un bote de 5 litros. La escotadura debe cortarse con exactitud con lados rectos. El flujo en litros por segundo se lee en la escala lateral.

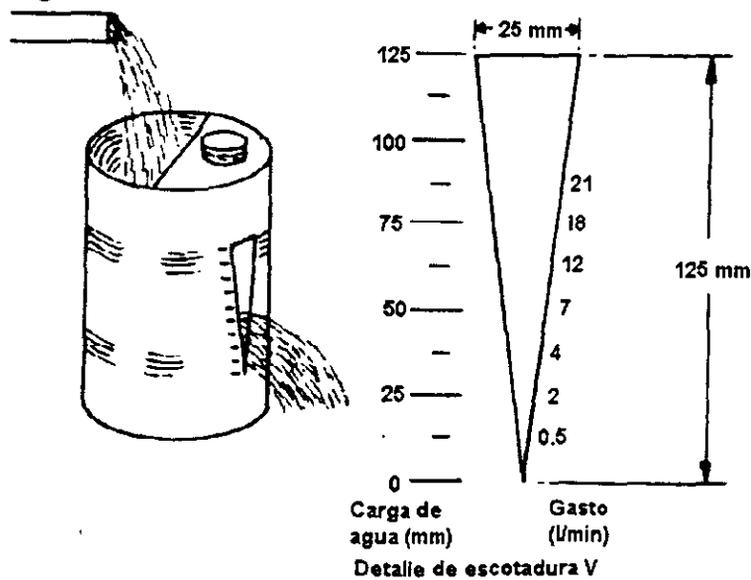


Figura 5.3. Empleo de un bote o tambo como vertedor triangular.

Para gastos mayores, puede fabricarse un vertedor triangular a 90° con una placa metálica o de madera, colocándola en la mitad de la cortina de tierra de manera que el agua derrame encima de ella. El nivel del agua se mide aguas arriba del vertedor mediante una regla, como se muestra en la Figura 5.4. El cero de la regla debe estar al mismo nivel del vértice del vertedor triangular.

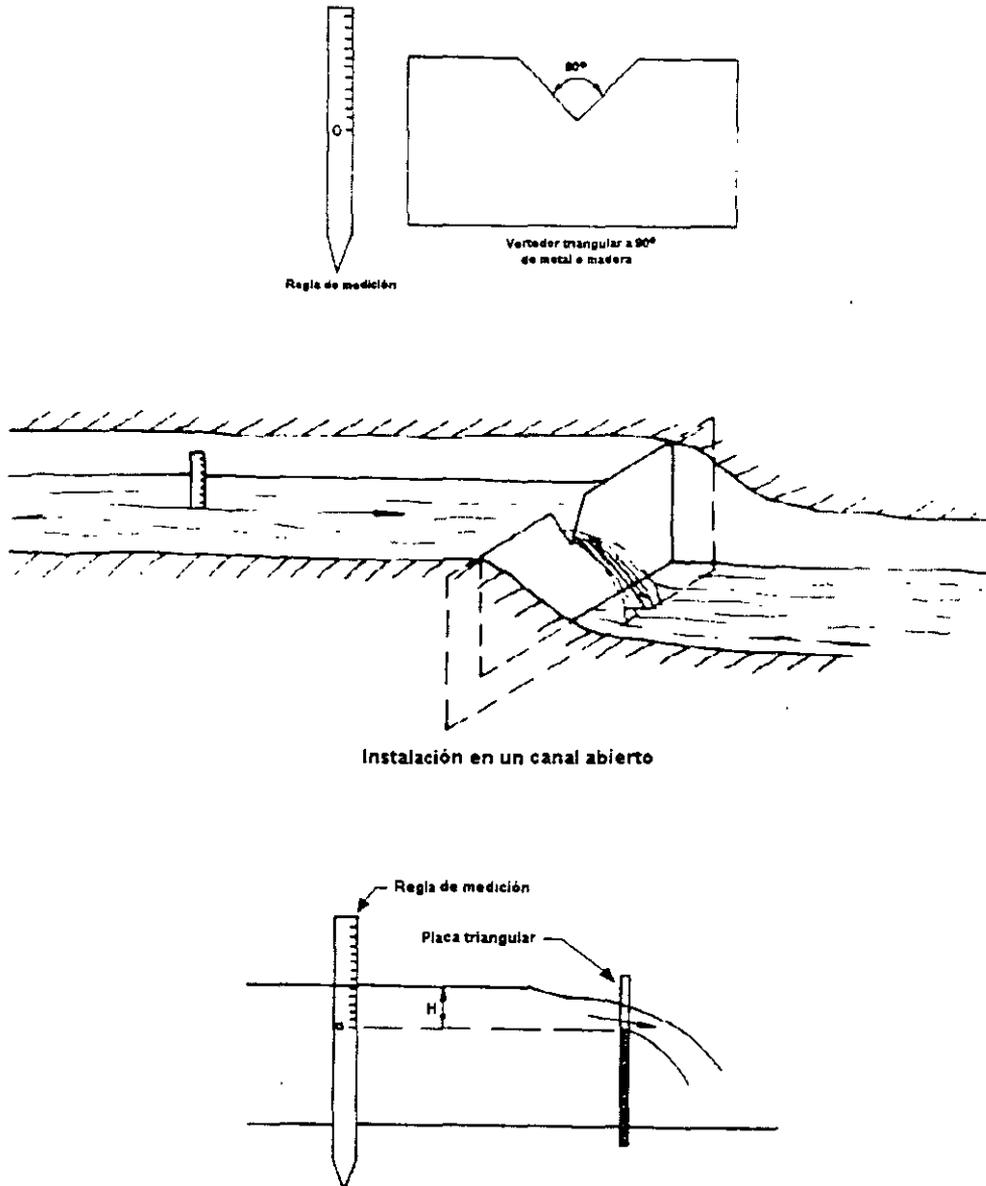


Figura 5.4. Aforo con vertedor triangular de 90°

El Cuadro 5.2 muestra el gasto en litros por segundo para una altura dada sobre el cero de la regla.

Si el gasto de un tubo es demasiado rápido para el método de la cubeta o para el vertedor triangular, se puede aforar colocando un tubo horizontal y midiendo la descarga de agua con una regla en L, como se muestra en la Figura 5.5. El tubo debe ser recto y de diámetro constante. El gasto puede obtenerse con el Cuadro 5.3.

Cuadro 5.2
Gasto sobre el vertedor triangular a 90°

| Altura del agua H (mm) | Gasto (l/s) |
|------------------------|-------------|
| 50 | 0.8 |
| 60 | 1.2 |
| 70 | 1.9 |
| 80 | 2.6 |
| 90 | 3.4 |
| 100 | 4.5 |
| 110 | 5.6 |
| 120 | 7.0 |
| 130 | 8.6 |
| 140 | 10.3 |
| 150 | 12.3 |

Cuadro 5.3
Gasto de un tubo horizontal, en función de la longitud del chorro de agua descargado

| Distancia horizontal x (mm) | Diámetro nominal del tubo (mm) | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|
| | 25 | 32 | 37 | 50 | 62 |
| 100 | 0.36 | 0.60 | 0.80 | 1.40 | 2.00 |
| 125 | 0.45 | 0.80 | 1.00 | 1.70 | 2.50 |
| 150 | 0.54 | 0.90 | 1.30 | 2.10 | 3.00 |
| 175 | 0.60 | 1.10 | 1.50 | 2.40 | 3.50 |
| 200 | 0.70 | 1.20 | 1.70 | 2.80 | 3.90 |
| 225 | 0.80 | 1.40 | 1.90 | 3.10 | 4.40 |
| 250 | 0.90 | 1.50 | 2.10 | 3.50 | 4.90 |
| 275 | 1.00 | 1.70 | 2.30 | 3.80 | 5.40 |
| 300 | 1.10 | 1.80 | 2.50 | 4.20 | 5.90 |
| 325 | 1.20 | 2.00 | 2.70 | 4.50 | 6.40 |
| 350 | 1.30 | 2.10 | 2.90 | 4.90 | 6.90 |
| 375 | 1.30 | 2.30 | 3.10 | 5.20 | 7.40 |
| 400 | 1.40 | 2.50 | 3.3 | 5.50 | 7.90 |

*Gasto en l/s

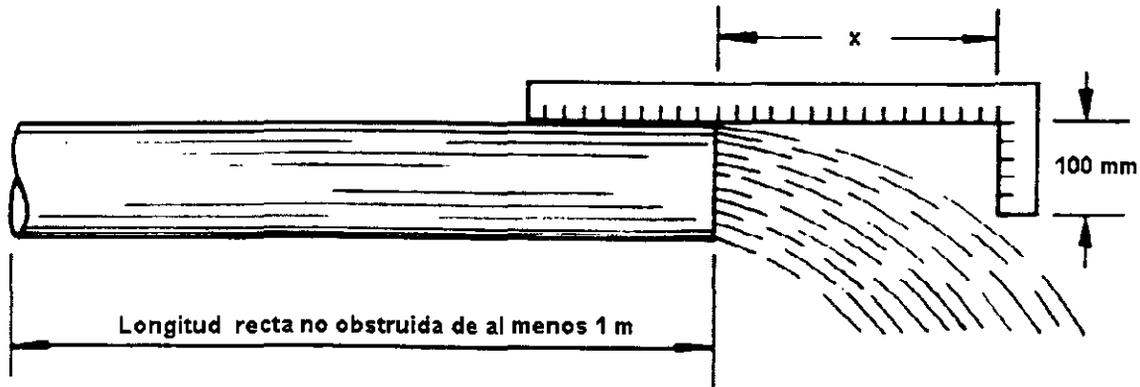


Figura 5.5. Aforo del gasto con un tubo horizontal.

5.3.2 Ríos

Para aforar en un río grande, es necesario localizar un lugar donde el cauce sea estrecho y recto, de ancho aproximadamente constante, libre de obstrucciones por una distancia de al menos 6 veces la profundidad promedio. El río debe tener al menos 300 mm de tirante. Se mide una distancia a lo largo de una de las márgenes y se arroja un objeto flotante al centro del río, en el inicio de la distancia medida. Una naranja sirve para estos fines. Se mide el tiempo que tarda llegar al final de la distancia medida; se repite la operación tres veces y se obtiene el promedio de las mediciones de tiempo, en segundos.

El gasto de la corriente en litros por segundo es aproximadamente: $(850 \times \text{longitud medida} \times \text{ancho del cauce} \times \text{profundidad media}) / \text{tiempo promedio}$, todas las distancias en metros.

En ríos pequeños puede construirse una cortina pequeña de tierra y aforar como un manantial.

5.3.3 Pozos

El rendimiento de un pozo puede obtenerse por bombeo, aforando al gasto y observando la caída en el nivel del agua dentro del pozo. La profundidad puede medirse atando un peso al extremo de una cuerda seca. Se hace descender el peso hasta que se sumerja, se marca la cuerda al nivel del terreno y se saca el peso para medir la longitud de la cuerda entre la marca y el punto húmedo más alto. El gasto de bombeo puede aforarse usando uno de los métodos descritos para manantiales.

Debe determinarse qué tan rápido puede bombearse hasta que el nivel dentro del pozo se estabiliza, este es el rendimiento. Después se para el bombeo y se verifica que el agua regrese a su nivel original.

Actividades de los alumnos para realizar por su cuenta.

Preguntas y problemas propuestos

Problema 1.

Estimado Ingeniero(a):

Una persona que trabajaba en esta empresa revolió los resultados del análisis de laboratorio practicados a ocho muestras de agua de diferentes fuentes. Tendremos que repetir los muestreos, pero podríamos hacer sólo seis o menos, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero. Le solicito atentamente identificar cada una de las fuentes, con una breve explicación, para cada caso, de las razones por las que considera que corresponden a una u otra. Los datos corresponden a tres ríos, tres pozos, un lago y agua de lluvia muestreada en un pluviógrafo lejos de la ciudad.

| COMPONENTE | Medida como: | FUENTES DE ABASTECIMIENTO | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | A | B | C | D | E | F | G | H |
| Calcio | CaCO ₃ | 35 | 57 | 282 | 100 | 42 | 3 | 35 | 230 |
| Magnesio | | 19 | 30 | 86 | 49 | 41 | 2 | 9 | 8 |
| Sodio | | 4 | 14 | 65 | 47 | 31 | 4 | 6 | 22 |
| Electrolitos totales | CaCO ₃ | 58 | 101 | 433 | 196 | 114 | 9 | 50 | 260 |
| Bicarbonato | | 10 | 13 | 352 | 140 | 91 | 6 | 42 | 235 |
| Carbonato | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hidroxilo | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sulfato | | 35 | 79 | 54 | 36 | 12 | 2 | 1 | NR |
| Cloruro | | 10 | 8 | 25 | 16 | 10 | 1 | 5 | 25 |
| Nitrato | | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | NR |
| Fluoruro | | NR | NR | 1 | 2 | 0 | 0 | NR | NR |
| Alcalinidad (M) | | 10 | 13 | 352 | 140 | 91 | 6 | 42 | 235 |
| Alcalinidad (P) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bióxido de carbono | | 1 | 15 | 35 | NR | 30 | 6 | 4 | 10 |
| pH | | 7.1 | 6.4 | 7.3 | 8.4 | 6.8 | 6.2 | 7.4 | 7.7 |
| Sílice | SiO ₂ | 4.7 | 5.6 | 31 | 19 | 3.9 | 7.8 | 3.3 | 22 |
| Hierro | Fe | 0.1 | NR | 6.9 | NR | 21 | 0 | 0.2 | 1.6 |
| Manganeso | Mn | NR | NR | 1.4 | NR | 5.6 | 0 | NR | NR |
| Turbiedad | | NR | 88 | NR | 150 | NR | NR | 1 | NR |
| Sólidos disueltos totales | | 84 | 143 | 488 | 234 | 118 | 17 | 54 | 314 |
| Color | | 7 | 2 | 2 | NR | 3 | 6 | 1 | 59 |

NOTA: Todas las unidades en mg/l, excepto: pH, en unidades de pH, turbiedad en UTN y color en unidades de platino cobalto.

Problema 2.

Del análisis de los datos del problema 1, obtenidos en laboratorio para cada fuente, complete la siguiente matriz.

| | FUENTES DE ABASTECIMIENTO | | | | | | | | Esto se debe a que . |
|---|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------------|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | |
| El agua con mayor dureza corresponde a la fuente .. | | | | | | | | | |
| El agua de esta fuente podría manchar los muebles sanitarios. | | | | | | | | | |
| El agua que más rechazarían los consumidores y que intervendría con el desinfectante corresponde a esta fuente. | | | | | | | | | |
| De acuerdo con la escala de pH, el agua más ácida es la de esta fuente. | | | | | | | | | |
| El agua de esta fuente podría manchar los dientes de los consumidores. | | | | | | | | | |
| El agua de ninguna fuente podría causar metahemoglobinemia, pero esta fuente tiene probabilidad cero | | | | | | | | | |
| Con respecto a los parámetros reportados, el agua de esta(s) fuente(s) es potable. | | | | | | | | | |

NOTA Todas las unidades en mg/l, excepto: pH, en unidades de pH, turbiedad en UTN y color en unidades de platino cobalto

Problema 3

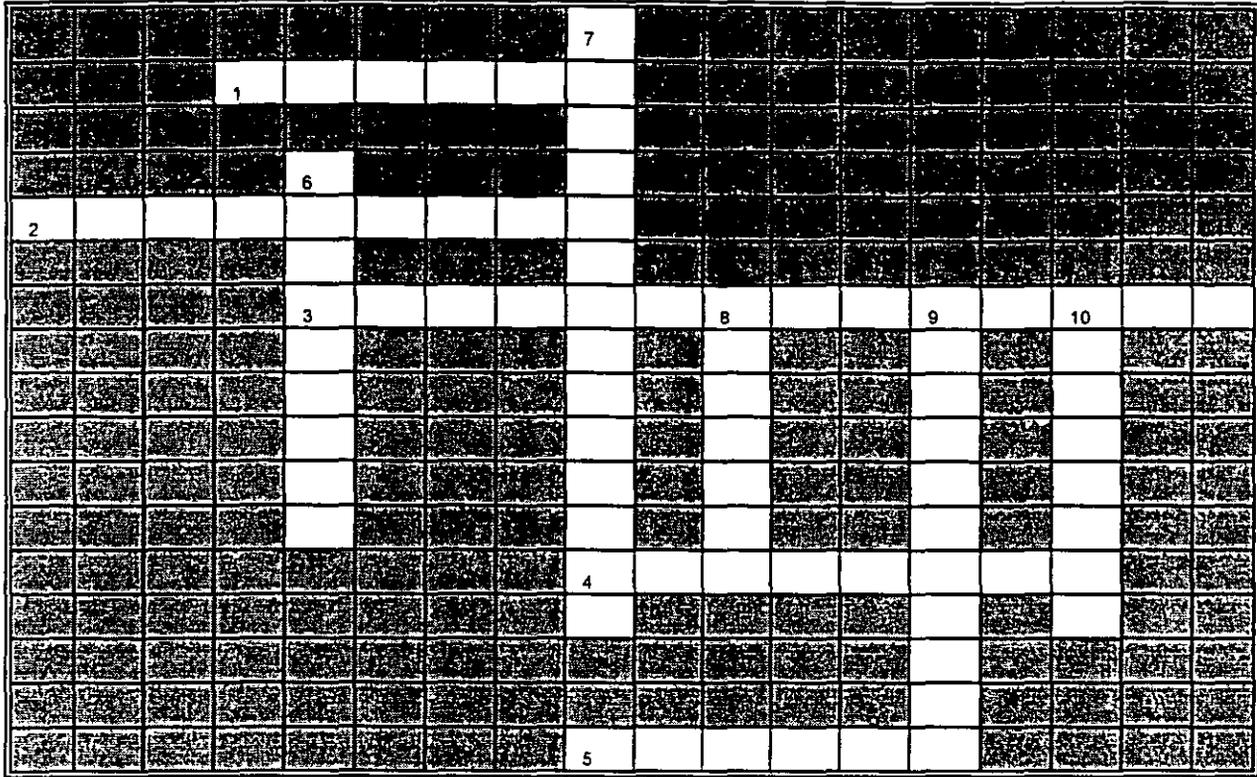
Resuelva el crucigrama que se muestra a continuación.

HORIZONTALES

1. Su contenido es moderado en aguas superficiales y normalmente elevado en aguas subterráneas
2. Junto con el hierro está generalmente presente en las aguas subterráneas y ausente en las aguas superficiales, lo cual constituye una ventaja de estas aguas
3. Se forman cuando se usa cloro para la desinfección en aguas con alta materia orgánica, son cancerígenos
4. En las aguas superficiales está presente si está contaminadas. En las aguas subterráneas está presente sin ser índice de contaminación
5. Es alta en las aguas subterráneas y baja en las aguas superficiales, lo cual es una ventaja de estas últimas al no formar incrustaciones.

VERTICALES

6. Junto con virus y plancton son organismos presentes en las aguas superficiales
7. Microorganismos que pueden estar presentes en las aguas subterráneas.
8. En las aguas superficiales está próximo a la saturación debido a la aereación natural, mientras que en las aguas subterráneas está normalmente ausente.
9. En las aguas superficiales es variable según las estaciones. En las aguas subterráneas es relativamente constante
10. Producen el síndrome del niño azul o metahemoglobinemia.





**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

C-6

CURSOS INSTITUCIONALES

DIPLOMADO EN USO EFICIENTE DEL AGUA EN CIUDADES

**MOD. II DEMANDA DE AGUA POTABLE EN
CIUDADES**

Del 31 de agosto al 08 de septiembre de 2001

ANEXOS

Ing. Enrique Cesar Valdés
Comisión Nacional del Agua
Agosto – septiembre /2001

**MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LAS TARIFAS 1999 POR RANGOS DE CONSUMO EN LAS CAPITALES DE LOS ESTADOS,
EN ALGUNAS CIUDADES FRONTERIZAS Y TURÍSTICAS
(m³ y pesos)**

ANEXO 18

| Capital | Doméstico | | | | Comercial | | | | Industrial | | | |
|--------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|------------|-------|-----------|-------|
| | Mínimo | | Máximo | | Mínimo | | Máximo | | Mínimo | | Máximo | |
| | Rango | Costo | Rango | Costo | Rango | Costo | Rango | Costo | Rango | Costo | Rango | Costo |
| AGUASCALIENTES, AGS | 11 a 20 | 1 90 | 76 a 100 | 39 61 | 11 a 20 | 6 34 | 51 a 100 | 34 85 | 0 a 30 | 9 50 | 51 a 100 | 39 61 |
| MEXICALI, B C | 5 a 10 | 0 85 | >1000 | 5 02 | >1000 | 8 25 | 40 a 100 | 10 32 | >1000 | 2 25 | 5 a 40 | 8 80 |
| TECATE, B C | 5 a 20 | 3 00 | >50 | 11 48 | 5 a 30 | 7 73 | >100 | 13 70 | 5 a 30 | 7 73 | >100 | 13 70 |
| TIJUANA, B C | 5 a 15 | 3 29 | >60 | 14 03 | 5 a 30 | 13 59 | >1000 | 14 19 | 5 a 30 | 12 59 | >1000 | 14 19 |
| I.A PAZ, B C S | 0 a 17 | 1 48 | >500 | 13 71 | 0 a 17 | 3 46 | >500 | 14 20 | 0 a 70 | 5 52 | >1000 | 15 89 |
| SAN JOSE DEL CABO, B C S | 0 a 30 | 0 69 | >100 | 4 68 | 0 a 35 | 1 46 | >1000 | 6 41 | 0 a 35 | 1 45 | >1000 | 6 41 |
| SALTILLO, COAH | 0 a 10 | 1 79 | >201 | 11 89 | 0 a 10 | 3 57 | >201 | 11 74 | 0 a 10 | 3 57 | >201 | 11 74 |
| MANZANILLO, COL | 0 a 30 | 1 70 | >101 | 5 14 | 51 a 100 | 4 56 | 401 a 200 | 8 70 | 0 a 30 | 6 70 | >301 | 4 84 |
| TUXTLA GUTIERREZ, CHIS | 0 a 15 | 1 10 | >250 | 4 86 | 0 a 15 | 3 87 | >251 | 5 88 | 16 a 40 | 4 22 | >251 | 6 92 |
| CHIHUAHUA, CHIH | 1 a 20 | 3 24 | 500 | 11 68 | 0 a 50 | 8 98 | 500 | 11 68 | 0 a 50 | 6 98 | 500 | 11 68 |
| CIUDAD JUAREZ, CHIH | 0 a 23 | 1 12 | >150 | 6 60 | 0 a 33 | 1 68 | >2000 | 12 41 | 0 a 33 | 1 68 | >2000 | 12 41 |
| DISTRITO FEDERAL, D F | 0 a 10 | 1 15 | >1500 | 25 38 | 0 a 30 | 5 58 | >1500 | 26 71 | 0 a 20 | 5 56 | >1500 | 26 71 |
| DURANGO, DGO | 0 a 10 | 1 50 | 91 a 100 | 1 58 | 50 a 70 | 1 00 | 0 a 10 | 2 00 | 50 a 70 | 2 00 | 0 a 10 | 3 90 |
| GUANAJUATO, GTO | 0 a 13 | 2 33 | 131 a 160 | 6 47 | 14 a 20 | 2 78 | 131 a 160 | 2 39 | 0 a 100 | 2 09 | >101 | 9 72 |
| CHILPANCINGO, GRO. | 0 a 10 | 2 30 | > 100 | 18 35 | 0 a 15 | 4 45 | > 100 | 18 78 | 0 a 15 | 5 74 | > 100 | 21 60 |
| ACAPULCO, GRO | 0 a 10 | 2 42 | > 200 | 6 68 | 0 a 25 | 8 85 | > 2500 | 23 43 | 0 a 25 | 8 85 | > 2500 | 23 43 |
| GUADALAJARA, JAL | 18 a 30 | 4 50 | >250 | 12 00 | 20 a 40 | 4 62 | >50000 | 50 94 | 20 a 40 | 4 62 | >50000 | 50 94 |
| PUERTO VALLARTA, JAL | 0 a 30 | 0 80 | >150 | 6 09 | 0 a 20 | 4 54 | >1000 | 11 27 | 0 a 30 | 4 96 | >1500 | 11 27 |
| MORELIA, MICH | 0 a 30 | 0 71 | >181 | 1 15 | 0 a 30 | 5 66 | > 2000 | 8 53 | 0 a 30 | 7 73 | > 2000 | 9 06 |
| CUERNAVACA, MOR | 0 a 40 | 0 74 | >600 | 4 60 | 0 a 40 | 1 49 | >600 | 9 36 | 0 a 40 | 2 52 | >600 | 11 88 |
| TEPIC, NAY | 0 a 20 | 1 85 | >91 | 4 50 | 0 a 20 | 2 66 | >91 | 6 00 | | | | |
| MONTERREY, N L | 1 a 10 | 0 25 | 191 a 200 | 23 08 | 0 a 25 | 4 23 | 100 a 199 | 16 50 | 0 a 25 | 4 23 | >200 | 12 76 |
| OAXACA, OAX | 0 a 15 | 1 33 | > 61 | 1 80 | 0 a 15 | 2 33 | > 91 | 3 20 | 0 a 15 | 3 00 | 401 a 500 | 4 90 |
| PACHUCA, HGO | 0 a 12 | 1 33 | > 250 | 9 01 | 0 a 15 | 2 06 | > 251 | 11 42 | 13 a 25 | 0 45 | 51 a 250 | 5 68 |
| PUEBLA, PUE. | 0 a 10 | 3 35 | 40 a 50 | 8 31 | 0 a 120 | 5 24 | >120 | 13 09 | 0 a 120 | 5 24 | >120 | 12 09 |
| CHETUMAL, Q ROO | 0 a 20 | 0 90 | >61 | 19 53 | 0 a 10 | 2 71 | >201 | 32 28 | 0 a 10 | 1 62 | >1000 | 41 30 |
| CANCUN, Q ROO | 0 a 20 | 0 90 | >61 | 19 53 | 0 a 10 | 2 71 | >201 | 32 26 | 0 a 10 | 1 62 | >1000 | 41 30 |
| COZUMEL, Q ROO | 0 a 20 | 0 90 | >61 | 19 53 | 0 a 10 | 2 71 | >201 | 32 26 | 0 a 10 | 1 62 | >1000 | 41 30 |
| SAN LUIS POTOSI, SLP | 0 a 30 | 1 30 | >251 | 13 69 | 0 a 10 | 4 55 | >251 | 18 81 | 0 a 200 | 7 48 | >251 | 18 81 |
| CULIACAN, SIN | 0 a 20 | 1 00 | > 500 | 3 20 | 0 a 25 | 1 86 | > 1501 | 3 71 | 0 a 25 | 2 39 | > 3001 | 4 54 |
| HERMOSILLO, SON | 15 a 35 | 0 82 | >151 | 4 73 | 0>151 | 5 32 | 0>151 | 5 32 | 0>151 | 5 32 | 0>151 | 6 32 |
| NOGALES, SON | >43 | 2 58 | >43 | 2 58 | >43 | 5 82 | >43 | 5 82 | >43 | 5 62 | >43 | 5 82 |
| VII LA HERMOSA, TAB | 0 40 | 0 25 | >81 | 1 88 | 0 a 20 | 1 32 | >241 | 2 71 | 0 a 80 | 2 17 | >481 | 3 06 |
| CD VICTORIA, TAMP | 11 a 20 | 1 91 | > 250 | 4 28 | 0 a 10 | 2 70 | > 250 | 6 44 | 0 a 30 | 3 76 | > 250 | 7 71 |
| TLAXCALA, TLAX | 31 a 60 | 2 92 | > 501 | 16 34 | 0 a 30 | 3 16 | > 500 | 19 92 | | | | |
| XALAPA, VER | 0 a 10 | 0 75 | >250 | 1 46 | 0 a 20 | 0 22 | >250 | 4 02 | 0 a 10 | 2 35 | >250 | 4 42 |
| MERIDA, YUC | 0 a 20 | 1 50 | >2250 | 5 40 | 0 a 30 | 2 83 | >2250 | 5 95 | 0 a 30 | 2 83 | >2250 | 5 95 |
| ZACATECAS, ZAC | 0 a 10 | 4 20 | > 100 | 15 18 | 0 a 20 | 8 25 | > 100 | 19 45 | 0 a 30 | 10 20 | 50 a 100 | 42 52 |

Fuente: CNA/UPRPS/Sistema Nacional de Información

**VOLUMEN DE AGUA SUMINISTRADA, GASTO FAMILIAR POR SERVICIO DE AGUA POTABLE,
PORCENTAJE DEL SALARIO DESTINADO AL PAGO DEL SERVICIO Y SU EQUIVALENTE EN DÍAS DE TRABAJO EN LAS CAPITALES ESTATALES
1995-1999
(CIFRAS EN PESOS)**

ANEXO 1e

| CAPITAL | INDICE DE HACIENDA | VOLUMEN DE AGUA SUMINISTRADA | | | | | | | | | | GASTO POR SERV. DE AGUA (POR FAM) | | | | | | | | % DE INGRESO (SMR) | | | | | PAGO MENSUAL | | | EN DÍAS | | |
|-------------------------|--------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------|------|-------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|---------------------------|------|------|------|------|--------------|------|------|---------|------|------|
| | | (LTS/HAB./DIA) | | | | | (m³/FAM./MES) | | | | | NOMINALES | | | | CONSTANTES | | | | DESTINADO AL PAGO D'SERV. | | | | | DE SALARIO M | | | DÍAS | | |
| | | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
| AQUASCALIENTES, AGE | 4.99 | 388.3 | 389.1 | 388.3 | 386.1 | 372.2 | 58.1 | 58.2 | 57.8 | 57.8 | 55.7 | 174.9 | 190.3 | 128.3 | 128.3 | 309.4 | 141.2 | 79.2 | 68.3 | 232.9 | 37.8 | 34.8 | 18.0 | 18.1 | 57.2 | 11.3 | 10.4 | 6.7 | 4.8 | 17.1 |
| MEXICALI, B.C. | 4.18 | 404.0 | 392.3 | 382.4 | 381.1 | 332.8 | 50.7 | 49.2 | 47.9 | 47.8 | 41.7 | 45.1 | 55.1 | 85.6 | 72.2 | 74.0 | 40.8 | 40.2 | 38.4 | 33.8 | 8.2 | 6.6 | 8.2 | 8.0 | 7.2 | 2.5 | 2.6 | 2.5 | 2.4 | 2.1 |
| LA PAZ, B.C.B. | 4.24 | 367.6 | 408.6 | 404 | 391.3 | 378.4 | 50.6 | 51.7 | 51.4 | 49.8 | 48.3 | 88.3 | 49.6 | 166.0 | 158.0 | 184.2 | 38.1 | 101.8 | 84.1 | 74.8 | 12.4 | 7.7 | 20.7 | 17.4 | 15.9 | 3.7 | 2.3 | 8.2 | 5.2 | 4.8 |
| CAMPECHE, CAMP | 4.46 | 391.2 | 360.9 | 366.6 | 352.6 | 309.8 | 52.3 | 50.9 | 49.3 | 47.2 | 56.0 | ND | ND | ND | 47.2 | ND | ND | ND | 25.1 | ND | ND | ND | 5.9 | ND | ND | ND | ND | ND | 1.8 | ND |
| BALTILLO, COAH. | 4.48 | 343.4 | 282.4 | 285.9 | 278.2 | 277.9 | 46.9 | 37.8 | 36.6 | 37.4 | 37.2 | 61.9 | 58.6 | 53.4 | 70.9 | 101.3 | 43.5 | 33.1 | 37.7 | 48.2 | 11.2 | 10.7 | 7.9 | 8.9 | 5.2 | 3.4 | 3.2 | 2.4 | 2.7 | 3.4 |
| COLIMA, COL. | 4.41 | 391.3 | 427.1 | 393.3 | 348.2 | 481.8 | 51.8 | 56.5 | 48.1 | 46.1 | 63.7 | 64.7 | 74.6 | 93.8 | 89.9 | 110.6 | 55.4 | 57.7 | 47.8 | 50.5 | 14.0 | 13.7 | 13.9 | 11.3 | 12.4 | 4.2 | 4.1 | 4.2 | 3.4 | 3.7 |
| TUXTLA GUTIERREZ, CHB. | 5.17 | 286.1 | 282.4 | 278.6 | 303.5 | 314.3 | 44.4 | 43.8 | 43.2 | 47.1 | 48.7 | 53.7 | 56.9 | 56.2 | 66.1 | 79.6 | 42.5 | 56.2 | 35.2 | 36.3 | 11.6 | 10.4 | 6.3 | 8.3 | 8.8 | 3.5 | 3.1 | 2.5 | 2.8 | 2.7 |
| CHIHUAHUA, CHH. | 4.21 | 384.7 | 448.1 | 465.9 | 388.5 | 396.5 | 46.6 | 56.3 | 58.6 | 49.1 | 50.1 | 78.7 | 154.3 | 211.1 | 145.8 | 231.3 | 114.8 | 130.5 | 77.6 | 105.6 | 17.0 | 28.3 | 31.3 | 18.3 | 25.9 | 5.1 | 8.5 | 9.4 | 5.5 | 7.8 |
| DISTRITO FEDERAL | 4.22 | 678.4 | 579.2 | 680.2 | 688.6 | 908.0 | 72.8 | 72.2 | 74.7 | 71.7 | 71.6 | 131.0 | 188.6 | 183.6 | 146.0 | 175.6 | 148.0 | 113.1 | 77.2 | 77.8 | 28.9 | 30.8 | 28.1 | 16.0 | 18.6 | 7.1 | 9.3 | 6.9 | 4.9 | 4.9 |
| DURANGO, DGO. | 4.77 | 449.4 | 234.8 | 229.7 | 227.1 | 218.1 | 64.3 | 33.8 | 32.9 | 32.5 | 30.9 | 55.3 | 29.6 | 28.9 | 28.5 | 30.1 | 21.6 | 17.8 | 15.2 | 13.7 | 12.0 | 5.4 | 4.3 | 3.6 | 3.4 | 3.6 | 1.6 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| GUANAJUATO, GTO. | 6.29 | 216.3 | 184.5 | 284.1 | 200.1 | 187.2 | 34.3 | 29.3 | 45.1 | 31.8 | 29.7 | 69.8 | 47.5 | 54.1 | 47.6 | 76.9 | 35.4 | 33.4 | 25.3 | 34.8 | 16.1 | 8.7 | 8.0 | 8.0 | 8.5 | 4.5 | 2.6 | 2.4 | 1.8 | 2.2 |
| CHILPANCIINGO, GRO. | 4.94 | 262.0 | 125.9 | 147.9 | 184.4 | 147.9 | 38.8 | 20.1 | 21.9 | 27.3 | 21.9 | 106.7 | 80.3 | 83.2 | 84.3 | 72.0 | 36.0 | 51.2 | 44.9 | 32.9 | 23.1 | 11.0 | 12.3 | 10.6 | 8.1 | 6.9 | 3.3 | 3.7 | 3.2 | 2.4 |
| PACHUCA, HGO. | 4.93 | 278.2 | 262.5 | 381.7 | 356.5 | 299.5 | 40.8 | 38.8 | 52.0 | 62.6 | 44.3 | 35.5 | 40.0 | 70.2 | 157.6 | 220.6 | 29.9 | 43.2 | 83.9 | 100.8 | 7.7 | 7.3 | 10.4 | 18.6 | 24.8 | 2.3 | 2.2 | 3.1 | 6.6 | 7.4 |
| GUADALAJARA, JAL. | 4.83 | 333.4 | 320.5 | 297 | 227.2 | 223.0 | 48.3 | 46.4 | 43.0 | 32.9 | 32.3 | 84.2 | 153.1 | 122.5 | 89.0 | 96.8 | 114.1 | 75.7 | 47.4 | 44.2 | 18.5 | 25.8 | 16.7 | 10.6 | 10.1 | 6.5 | 7.1 | 9.0 | 3.2 | 3.0 |
| TOLUCA, MEX. | 4.79 | 254.7 | 297.0 | 305.4 | 301.0 | 334.3 | 38.6 | 42.7 | 43.9 | 43.2 | 48.0 | 26.7 | 49.1 | 50.5 | 49.7 | ND | 36.7 | 31.2 | 26.4 | ND | 5.8 | 6.0 | 7.6 | 8.2 | ND | 1.7 | 2.7 | 2.2 | 1.8 | ND |
| MORELIA, MICH. | 4.95 | 327.9 | 177.9 | 173.7 | 173.7 | 348.6 | 48.7 | 29.4 | 25.8 | 25.8 | 51.5 | 35.5 | 16.7 | 26.3 | 15.8 | 37.6 | 14.0 | 18.2 | 6.4 | 17.2 | 7.7 | 3.4 | 3.9 | 2.0 | 4.2 | 2.3 | 1.0 | 1.2 | 0.6 | 1.1 |
| CUERNAVACA, MOR. | 4.48 | 797.9 | 722.4 | 843.7 | 848.1 | 800.3 | 107.5 | 97.3 | 113.9 | 114.0 | 107.8 | ND | 82.3 | 113.9 | 141.7 | 116.4 | 46.3 | 70.3 | 75.4 | 53.1 | ND | 11.4 | 18.9 | 17.8 | 13.0 | ND | 3.4 | 5.1 | 6.3 | 3.4 |
| TEPEC, NAY. | 4.49 | 449.5 | 424.5 | 414.5 | 400.9 | 389.2 | 60.6 | 57.2 | 55.8 | 54.0 | 52.4 | 116.8 | 134.4 | 131.1 | 164.6 | 124.0 | 100.1 | 80.9 | 87.6 | 56.8 | 25.3 | 24.6 | 19.4 | 20.7 | 13.9 | 7.6 | 7.4 | 5.8 | 6.2 | 4.1 |
| MONTERREY, N.L. | 4.48 | 293.6 | 320.0 | 281.9 | 303.9 | 292.5 | 39.5 | 43.0 | 37.9 | 40.8 | 39.3 | 82.5 | 127.3 | 132.6 | 148.8 | 184.8 | 84.6 | 81.9 | 78.1 | 75.2 | 18.2 | 21.4 | 18.0 | 17.6 | 17.2 | 4.8 | 5.9 | 5.4 | 6.2 | 5.2 |
| OAXACA, OAX. | 4.94 | 234.6 | 276.4 | 262.4 | 278.8 | 173.9 | 34.6 | 40.9 | 38.9 | 41.3 | 25.8 | 22.3 | 36.8 | 24.9 | 36.2 | 35.9 | 19.6 | 15.2 | 20.9 | 16.4 | 4.8 | 7.1 | 3.7 | 4.9 | 4.0 | 1.4 | 2.1 | 1.1 | 1.5 | 1.1 |
| PUEBLA, PUE. | 5.02 | 324.9 | 271.1 | 261.1 | 292.1 | 274.2 | 48.9 | 40.8 | 37.8 | 44.0 | 41.3 | 93.4 | 77.9 | 75.6 | 101.4 | 189.2 | 52.6 | 46.6 | 54.0 | 80.8 | 20.2 | 14.3 | 11.2 | 12.7 | 22.3 | 6.1 | 4.3 | 3.4 | 3.8 | 6 |
| QUERETARO, QRO. | 4.98 | 321.3 | 310.7 | 249.9 | 280.5 | 292.7 | 48.0 | 46.4 | 37.3 | 41.9 | 43.7 | 79.7 | 111.4 | 89.5 | 59.7 | 88.3 | 83.0 | 55.2 | 31.8 | 44.9 | 17.2 | 20.4 | 13.2 | 7.5 | 11.0 | 5.2 | 6.1 | 4.0 | 2.2 | 3 |
| CHIETUMAL, Q.ROO. | 4.29 | 454.7 | 465.1 | 441.2 | 449.1 | 399.7 | 58.5 | 59.8 | 66.8 | 57.8 | 61.4 | 168.5 | 220.1 | 209.0 | 213.0 | 249.8 | 183.8 | 128.9 | 113.3 | 114.1 | 36.5 | 40.3 | 31.0 | 26.6 | 26.0 | 10.9 | 12.1 | 9.3 | 8.0 | 8 |
| SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P. | 4.97 | 257.8 | 292 | 247.9 | 290.6 | 264.6 | 38.4 | 43.5 | 37.0 | 43.3 | 39.4 | 20.7 | 60.9 | 77.7 | 93.5 | 63.3 | 45.2 | 47.7 | 49.7 | 28.9 | 4.5 | 11.1 | 11.5 | 11.8 | 7.1 | 1.3 | 3.3 | 3.4 | 3.5 | 2 |
| CULIACÁN, SIN. | 4.75 | 310.4 | 299.8 | 171.6 | 279.2 | 272.3 | 44.2 | 42.7 | 24.4 | 39.8 | 38.6 | 41.5 | 48.2 | 24.4 | 40.7 | 40.7 | 35.9 | 15.1 | 21.6 | 18.6 | 9.0 | 8.8 | 3.6 | 5.1 | 4.6 | 2.7 | 2.6 | 1.1 | 1.6 | 1 |
| HERMOSILLO, SON. | 4.39 | 478.9 | 483.7 | 363.4 | 351.1 | 453.2 | 63.1 | 61.1 | 47.8 | 46.2 | 59.7 | 154.6 | 80.6 | 37.8 | 36.5 | 79.5 | 80.0 | 23.4 | 19.4 | 36.3 | 30.3 | 13.6 | 5.1 | 4.3 | 8.3 | 6.1 | 4.1 | 1.5 | 1.3 | 2 |
| VILLAHERMOSA, TAB. | 4.92 | 680.5 | 664.5 | 629.2 | 617.0 | 697.9 | 100.4 | 96.6 | 97.9 | 91.1 | 88.2 | 44.0 | 48.3 | 46.4 | 45.7 | 44.3 | 35.7 | 28.6 | 24.3 | 20.2 | 6.5 | 8.8 | 6.9 | 5.7 | 5.0 | 2.8 | 2.6 | 2.1 | 1.7 | 1 |
| CIUDAD VICTORIA, TAMP. | 4.24 | 291.0 | 302.4 | 302.4 | 284.2 | 271.8 | 37.0 | 38.5 | 38.5 | 36.1 | 34.6 | 34.0 | 57.4 | 61.2 | 57.3 | 68.0 | 47.7 | 37.7 | 30.5 | 31.0 | 7.3 | 10.5 | 8.1 | 7.2 | 7.6 | 2.2 | 3.1 | 2.7 | 2.2 | 2 |
| TLAXCALA, TLAX. | 5.14 | 211.5 | 188.4 | 181.5 | 189.4 | 318.9 | 32.6 | 29.0 | 28.0 | 26.1 | 49.2 | 53.1 | 43.5 | 46.4 | 57.1 | 121.1 | 32.5 | 30.0 | 30.4 | 55.7 | 11.6 | 8.0 | 7.2 | 7.2 | 13.7 | 3.4 | 2.4 | 2.1 | 2.1 | 4 |
| XALAPA, VER. | 4.6 | 349.4 | 320.8 | 295.9 | 283.3 | 269.0 | 48.2 | 44.2 | 40.8 | 39.1 | 37.1 | 41.0 | 37.6 | 34.7 | 31.0 | 29.4 | 27.8 | 21.2 | 16.5 | 13.4 | 8.9 | 6.9 | 6.1 | 3.9 | 3.3 | 2.7 | 2.1 | 1.5 | 1.2 | 1 |
| MÉRIDA, YUC. | 4.71 | 321.6 | 330.8 | 318.1 | 304.7 | 361.1 | 45.4 | 46.7 | 44.9 | 43.0 | 61.0 | 42.7 | 56 | 53.9 | 96.5 | 102.0 | 41.6 | 33.2 | 52.4 | 46.5 | 9.2 | 10.2 | 8.0 | 12.4 | 11.4 | 2.8 | 3.1 | 2.4 | 3.7 | 1 |
| ZACATECAS, ZAC. | 4.89 | 312.3 | 312 | 284.4 | 275.6 | 268.4 | 45.8 | 45.7 | 41.7 | 40.4 | 39.5 | 138.8 | 152.2 | 138.9 | 75.5 | 223.6 | 113.3 | 85.5 | 40.2 | 102.1 | 30.0 | 27.9 | 20.6 | 9.5 | 25.1 | 8.0 | 8.4 | 6.2 | 2.8 | 1 |
| PROMEDIO | 4.88 | 387.8 | 348.3 | 338.6 | 336.6 | 343.0 | 51.2 | 48.4 | 47.1 | 46.8 | 47.8 | 74.2 | 83.6 | 88.9 | 87.4 | 124.5 | 81.4 | 54.3 | 48.5 | 56.8 | 15.5 | 14.8 | 12.5 | 10.8 | 13.5 | 4.7 | 4.4 | 3.7 | 3.2 | 4 |

MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LAS TARIFAS 1999 POR RANGOS DE CONSUMO EN LAS CAPITALES DE LOS ESTADOS,
EN ALGUNAS CIUDADES FRONTERIZAS Y TURÍSTICAS
(m³ y pesos)

Anexo 18

| Capital | Doméstico | | | | Comercial | | | | Industrial | | | |
|--------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|------------|-------|-----------|-------|
| | Mínimo | | Máximo | | Mínimo | | Máximo | | Mínimo | | Máximo | |
| | Rango | Costo | Rango | Costo | Rango | Costo | Rango | Costo | Rango | Costo | Rango | Costo |
| AGUAS CALIENTES, AGS | 11 a 20 | 1 80 | 76 a 100 | 39 61 | 11 a 20 | 6 34 | 51 a 100 | 34 85 | 0 a 30 | 9 50 | 51 a 100 | 39 61 |
| MEXICALI, B C | 5 a 10 | 0 85 | >1000 | 5 02 | >1000 | 8 25 | 40 a 100 | 10 32 | >1000 | 2 25 | 5 a 40 | 8 80 |
| TECATE, B C | 5 a 20 | 3 09 | >50 | 11 48 | 5 a 30 | 7 73 | >100 | 13 70 | 5 a 30 | 7 73 | >100 | 13 70 |
| TIJUANA, B C | 5 a 15 | 3 29 | >60 | 14 03 | 5 a 30 | 13 59 | >1000 | 14 19 | 5 a 30 | 12 59 | >1000 | 14 19 |
| LA PAZ, B C S | 0 a 17 | 1 48 | >500 | 13 71 | 0 a 17 | 3 46 | >500 | 14 20 | 0 a 70 | 5 52 | >1000 | 15 89 |
| SAN JOSE DEL CABO, B C S | 0 a 30 | 0 69 | >100 | 4 68 | 0 a 35 | 1 46 | >1000 | 6 41 | 0 a 35 | 1 45 | >1000 | 6 41 |
| SALTILLO, COAH | 0 a 10 | 1 79 | >201 | 11 89 | 0 a 10 | 3 57 | >201 | 11 74 | 0 a 10 | 3 57 | >201 | 11 74 |
| MANZANILLO, COL | 0 a 30 | 1 70 | >101 | 5 14 | 51 a 100 | 4 56 | 401 a 200 | 8 70 | 0 a 30 | 6 70 | >301 | 4 94 |
| TUXTLA GUTIERREZ, CHIIS | 0 a 15 | 1 10 | >250 | 4 86 | 0 a 15 | 3 87 | >251 | 5 88 | 16 a 40 | 4 22 | >251 | 6 92 |
| CHIHUAHUA, CHIH | 1 a 20 | 3 24 | 500 | 11 68 | 0 a 50 | 8 98 | 500 | 11 68 | 0 a 50 | 6 98 | 500 | 11 68 |
| CIUDAD JUAREZ, CHIH | 0 a 23 | 1 12 | >150 | 6 80 | 0 a 33 | 1 68 | >2000 | 12 41 | 0 a 33 | 1 68 | >2000 | 12 41 |
| DISTRITO FEDERAL, D.F. | 0 a 10 | 1 15 | >1500 | 25 38 | 0 a 30 | 5 56 | >1500 | 28 71 | 0 a 20 | 5 56 | >1500 | 26 71 |
| DURANGO, DGO | 0 a 10 | 1 50 | 81 a 100 | 1 58 | 50 a 70 | 1 00 | 0 a 10 | 2 00 | 50 a 70 | 2 00 | 0 a 10 | 3 90 |
| GUANAJUATO, GTO | 0 a 13 | 2 33 | 131 a 160 | 6 47 | 14 a 20 | 2 78 | 131 a 160 | 2 39 | 0 a 100 | 2 09 | >101 | 9 72 |
| CHILPANCIINGO, GRO. | 0 a 10 | 2 30 | > 100 | 16 35 | 0 a 15 | 4 45 | > 100 | 18 78 | 0 a 15 | 5 74 | > 100 | 21 60 |
| ACAPULCO, GRO | 0 a 10 | 2 42 | > 200 | 6 68 | 0 a 25 | 8 85 | > 2500 | 23 43 | 0 a 25 | 8 85 | > 2500 | 23 43 |
| GUADALAJARA, JAL | 18 a 30 | 4 50 | >250 | 12 00 | 20 a 40 | 4 62 | >50000 | 50 94 | 20 a 40 | 4 62 | >50000 | 50 94 |
| PUERTO VALLARTA, JAL | 0 a 30 | 0 80 | >150 | 6 09 | 0 a 20 | 4 54 | >1000 | 11 27 | 0 a 30 | 4 95 | >1500 | 11 27 |
| MORELIA, MICH | 0 a 30 | 0 71 | >181 | 1 15 | 0 a 30 | 5 66 | > 2000 | 8 53 | 0 a 30 | 7 73 | > 2000 | 9 06 |
| CUERNAVACA, MOR | 0 a 40 | 0 74 | >600 | 4 60 | 0 a 40 | 1 49 | >600 | 9 36 | 0 a 40 | 2 52 | >600 | 11 88 |
| TEPIC, NAY | 0 a 20 | 1 85 | >91 | 4 50 | 0 a 20 | 2 66 | >91 | 6 00 | | | | |
| MONTERREY, H L | 1 a 10 | 0 25 | 191 a 200 | 23 08 | 0 a 25 | 4 23 | 100 a 199 | 16 50 | 0 a 25 | 4 23 | >200 | 12 76 |
| OAXACA, OAX | 0 a 15 | 1 33 | > 61 | 1 80 | 0 a 15 | 2 33 | > 91 | 3 20 | 0 a 15 | 3 00 | 401 a 500 | 4 90 |
| PACIJUCA, HGO | 0 a 12 | 1 33 | > 250 | 9 01 | 0 a 15 | 2 06 | > 251 | 11 42 | 13 a 25 | 0 45 | 51 a 250 | 5 68 |
| PUEBLA, PUE. | 0 a 10 | 3 35 | 40 a 50 | 6 31 | 0 a 120 | 5 24 | >120 | 13 09 | 0 a 120 | 5 24 | >120 | 12 09 |
| CHEMUMAL, Q ROO | 0 a 20 | 0 90 | >61 | 19 53 | 0 a 10 | 2 71 | >201 | 32 26 | 0 a 10 | 1 62 | >1000 | 41 30 |
| CANCUN, Q ROO | 0 a 20 | 0 90 | >61 | 19 53 | 0 a 10 | 2 71 | >201 | 32 26 | 0 a 10 | 1 62 | >1000 | 41 30 |
| COZUMEL, Q ROO | 0 a 20 | 0 90 | >61 | 19 53 | 0 a 10 | 2 71 | >201 | 32 26 | 0 a 10 | 1 62 | >1000 | 41 30 |
| SAN LUIS POTOSI, SLP | 0 a 30 | 1 30 | >251 | 13 69 | 0 a 10 | 4 55 | >251 | 18 81 | 0 a 200 | 7 45 | >251 | 18 81 |
| CULIACAN, SIN | 0 a 20 | 1 00 | > 500 | 3 20 | 0 a 25 | 1 86 | > 1501 | 3 71 | 0 a 25 | 2 39 | > 3001 | 4 54 |
| HERMOSILLO, SON | 15 a 35 | 0 62 | >151 | 4 73 | 0 a 151 | 5 32 | 0 a 151 | 5 32 | 0 a 151 | 5 32 | 0 a 151 | 5 32 |
| NOGAL ES, SON | >43 | 2 59 | >43 | 2 58 | >43 | 5 62 | >43 | 5 62 | >43 | 5 62 | >43 | 5 62 |
| VILLA HERMOSA, TAB | 0 a 40 | 0 25 | >81 | 1 80 | 0 a 20 | 1 32 | >241 | 2 71 | 0 a 60 | 2 17 | >481 | 3 05 |
| CD VICTORIA, TAMP'S | 11 a 20 | 1 91 | > 270 | 4 28 | 0 a 10 | 2 70 | > 250 | 6 44 | 0 a 30 | 3 75 | > 250 | 7 71 |
| TLAXCALA, H AX | 31 a 60 | 2 92 | > 501 | 16 34 | 0 a 30 | 3 16 | > 500 | 19 92 | | | | |
| XALAPA, VER | 0 a 10 | 0 75 | >250 | 1 46 | 0 a 20 | 0 27 | >250 | 4 02 | 0 a 10 | 2 35 | >250 | 4 42 |
| MERIDA, YUC | 0 a 20 | 1 50 | >2250 | 5 40 | 0 a 30 | 2 83 | >2250 | 5 95 | 0 a 30 | 2 83 | >2250 | 5 95 |
| ZACATECAS, ZAC | 0 a 10 | 4 20 | > 100 | 15 18 | 0 a 20 | 6 25 | > 100 | 19 45 | 0 a 30 | 10 20 | 50 a 100 | 42 52 |

Fuente: CNA/UPRPS/Sistema Nacional de Información

**VOLUMEN DE AGUA SUMINISTRADA, GASTO FAMILIAR POR SERVICIO DE AGUA POTABLE,
PORCENTAJE DEL SALARIO DESTINADO AL PAGO DEL SERVICIO Y SU EQUIVALENTE EN DÍAS DE TRABAJO EN LAS CAPITALES ESTATALES
1995-1999
(CIFRAS EN PESOS)**

ANEXO 1e

| CAPITAL | INDICE DE HACIENDA | VOLUMEN DE AGUA SUMINISTRADA | | | | | | | | | | GASTO POR SERV. DE AGUA (POR FAM.) | | | | | | | | % DE INGRESO (SMR) | | | | | PAGO MENSUAL | | | EN DIAS | | |
|---------------------------|--------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|------|-------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|-------------------------|------|------|------|------|--------------|------|------|---------|------|------|
| | | (LTS./HAB./DIA) | | | | | (m ³ /FAM./MES) | | | | | NOMINALES | | | | CONSTANTES | | | | DESIGN. AL PAGO D/SERV. | | | | | DE SALARIO M | | | NEMO | | |
| | | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
| AQUASCALIENTES, AGS. | 4.99 | 388.3 | 389.1 | 388.3 | 388.1 | 372.2 | 58.1 | 58.2 | 57.8 | 57.6 | 55.7 | 174.9 | 190.3 | 128.3 | 128.3 | 509.4 | 141.2 | 79.2 | 68.3 | 232.5 | 37.8 | 34.8 | 19.0 | 18.1 | 57.2 | 11.3 | 10.4 | 8.7 | 4.8 | 17.1 |
| MEXICALI, B. C. | 4.18 | 404.0 | 392.3 | 382.4 | 381.1 | 332.5 | 50.7 | 49.2 | 47.9 | 47.8 | 41.7 | 45.1 | 55.1 | 65.6 | 72.2 | 74.0 | 40.8 | 40.2 | 38.4 | 33.8 | 8.2 | 8.6 | 8.2 | 8.0 | 7.2 | 2.5 | 2.8 | 2.5 | 2.4 | 2.1 |
| LA PAZ, B. C. S. | 4.24 | 307.8 | 408.8 | 404 | 391.3 | 379.4 | 50.8 | 51.7 | 51.4 | 48.8 | 48.3 | 68.3 | 49.6 | 165.0 | 158.0 | 184.2 | 36.1 | 101.8 | 64.1 | 74.9 | 12.4 | 7.7 | 20.7 | 17.4 | 15.9 | 3.7 | 2.3 | 8.2 | 5.2 | 4.8 |
| CAMPECHE, CAMP. | 4.48 | 391.2 | 380.9 | 388.6 | 352.8 | 399.8 | 52.3 | 60.9 | 49.3 | 47.2 | 58.0 | ND | ND | ND | 47.2 | ND | ND | ND | 25.1 | ND | ND | ND | 5.9 | ND | ND | ND | ND | ND | 1.8 | ND |
| SALTILLO, COAH. | 4.48 | 343.4 | 282.4 | 265.9 | 279.2 | 277.9 | 48.9 | 37.8 | 38.6 | 37.4 | 37.2 | 51.9 | 58.0 | 53.4 | 70.9 | 101.3 | 43.6 | 33.1 | 37.7 | 46.2 | 11.2 | 10.7 | 7.9 | 8.0 | 5.2 | 3.4 | 3.2 | 2.4 | 2.7 | 3.4 |
| COLIMA, COL. | 4.41 | 391.3 | 427.1 | 363.3 | 348.2 | 481.6 | 51.8 | 56.5 | 48.1 | 46.1 | 63.7 | 64.7 | 74.6 | 93.8 | 89.9 | 110.8 | 55.4 | 57.7 | 47.8 | 50.5 | 14.0 | 13.7 | 13.9 | 11.3 | 12.4 | 4.2 | 4.1 | 4.2 | 3.4 | 3.7 |
| TUXTLA GUTIERREZ, CHIB. | 6.17 | 280.1 | 282.4 | 278.0 | 303.5 | 314.3 | 44.4 | 43.8 | 43.2 | 47.1 | 48.7 | 53.7 | 58.9 | 58.2 | 66.1 | 79.6 | 42.5 | 58.2 | 35.2 | 36.3 | 11.6 | 10.4 | 8.3 | 8.3 | 6.9 | 3.5 | 3.1 | 2.5 | 2.5 | 2.7 |
| CHIHUAHUA, CHIH. | 4.21 | 384.7 | 446.1 | 465.9 | 388.5 | 396.5 | 48.6 | 56.3 | 58.6 | 49.1 | 50.1 | 78.7 | 164.3 | 211.1 | 145.8 | 231.3 | 114.8 | 130.5 | 77.6 | 105.6 | 17.0 | 28.3 | 31.3 | 18.3 | 25.9 | 5.1 | 8.5 | 9.4 | 5.5 | 7.8 |
| DISTRITO FEDERAL | 4.22 | 675.4 | 570.6 | 590.2 | 586.6 | 566.0 | 72.8 | 72.2 | 74.7 | 71.7 | 71.6 | 131.0 | 188.5 | 183.8 | 148.0 | 170.6 | 148.0 | 113.1 | 77.2 | 77.8 | 23.9 | 30.9 | 23.1 | 18.0 | 16.6 | 7.1 | 9.3 | 8.8 | 4.8 | 4.9 |
| DURANGO, DGO. | 4.77 | 449.4 | 234.6 | 229.7 | 227.1 | 218.1 | 64.3 | 33.6 | 32.9 | 32.5 | 30.9 | 55.3 | 29.6 | 28.9 | 28.5 | 30.1 | 21.8 | 17.8 | 15.2 | 13.7 | 12.0 | 5.4 | 4.3 | 3.6 | 3.4 | 3.6 | 1.6 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| GUANAJUATO, GTO. | 6.29 | 216.3 | 184.5 | 284.1 | 200.1 | 187.2 | 34.3 | 29.3 | 45.1 | 31.8 | 29.7 | 69.6 | 47.5 | 54.1 | 47.6 | 75.9 | 33.4 | 33.4 | 25.3 | 34.6 | 15.1 | 8.7 | 8.0 | 6.0 | 8.5 | 4.5 | 2.6 | 2.4 | 1.8 | 2.5 |
| CHILPANCIINGO, GRO. | 4.94 | 282.0 | 135.9 | 147.9 | 184.4 | 147.9 | 38.8 | 20.1 | 21.9 | 27.3 | 21.9 | 108.7 | 80.3 | 83.2 | 84.3 | 72.0 | 36.0 | 51.2 | 44.9 | 32.9 | 23.1 | 11.0 | 12.3 | 10.8 | 8.1 | 6.9 | 3.3 | 3.7 | 3.2 | 2.4 |
| PACHUCA, HGO. | 4.93 | 276.2 | 267.5 | 381.7 | 355.5 | 299.6 | 40.8 | 38.8 | 52.0 | 52.6 | 44.3 | 35.5 | 40.0 | 70.2 | 157.6 | 220.8 | 29.9 | 43.2 | 83.9 | 100.8 | 7.7 | 7.3 | 10.4 | 18.8 | 24.8 | 2.3 | 2.2 | 3.1 | 5.9 | 7.4 |
| GUADALAJARA, JAL. | 4.63 | 333.4 | 320.5 | 297 | 277.2 | 223.0 | 48.3 | 48.4 | 43.0 | 32.9 | 32.3 | 94.2 | 153.1 | 122.5 | 89.0 | 96.8 | 114.1 | 75.7 | 47.4 | 44.2 | 18.5 | 25.8 | 16.7 | 16.8 | 10.1 | 5.5 | 7.1 | 5.0 | 3.2 | 3.0 |
| TOLUCA, MEX. | 4.79 | 254.7 | 297.0 | 305.4 | 301.0 | 334.3 | 36.6 | 42.7 | 43.9 | 43.2 | 48.0 | 26.7 | 49.1 | 50.6 | 49.7 | ND | 36.7 | 31.2 | 26.4 | ND | 5.8 | 9.0 | 7.5 | 6.2 | ND | 1.7 | 2.7 | 2.2 | 1.9 | ND |
| MORELIA, MICH. | 4.95 | 327.9 | 177.9 | 173.7 | 173.7 | 346.6 | 48.7 | 28.4 | 25.6 | 25.8 | 51.5 | 35.5 | 18.7 | 26.3 | 15.8 | 37.8 | 14.0 | 16.2 | 8.4 | 17.2 | 7.7 | 3.4 | 3.9 | 2.0 | 4.2 | 2.3 | 1.0 | 1.2 | 0.6 | 1.3 |
| CUERNAVACA, MOR. | 4.49 | 787.9 | 722.4 | 843.7 | 848.1 | 800.3 | 107.5 | 97.3 | 113.9 | 114.0 | 107.8 | ND | 62.3 | 113.9 | 141.7 | 118.4 | 46.3 | 70.3 | 75.4 | 53.1 | ND | 11.4 | 18.9 | 17.8 | 13.0 | ND | 3.4 | 5.1 | 5.3 | 3.9 |
| TEPIC, NAY. | 4.49 | 449.5 | 424.5 | 414.5 | 400.9 | 389.2 | 60.6 | 57.2 | 55.6 | 54.0 | 52.4 | 116.8 | 134.4 | 131.1 | 104.6 | 124.0 | 100.1 | 83.9 | 87.6 | 56.6 | 25.3 | 24.6 | 19.4 | 20.7 | 13.9 | 7.8 | 7.4 | 5.8 | 6.2 | 4.2 |
| MONTERREY, N. L. | 4.48 | 293.8 | 320.0 | 281.6 | 303.9 | 292.6 | 39.5 | 43.0 | 37.9 | 40.8 | 39.3 | 82.5 | 127.3 | 132.6 | 146.8 | 164.8 | 64.8 | 81.6 | 78.1 | 75.2 | 16.2 | 21.4 | 18.0 | 17.5 | 17.2 | 4.8 | 5.9 | 5.4 | 5.2 | 5.2 |
| OAXACA, OAX. | 4.94 | 234.8 | 278.4 | 262.4 | 278.8 | 173.9 | 34.8 | 40.9 | 38.9 | 41.3 | 25.8 | 22.3 | 38.8 | 24.9 | 36.2 | 35.9 | 19.6 | 15.2 | 20.9 | 16.4 | 4.8 | 7.1 | 3.7 | 4.9 | 4.0 | 1.4 | 2.1 | 1.1 | 1.5 | 1.2 |
| PUEBLA, PUE. | 5.02 | 324.9 | 271.1 | 251.1 | 292.1 | 274.2 | 48.9 | 40.8 | 37.8 | 44.0 | 41.3 | 93.4 | 77.9 | 75.6 | 101.4 | 199.2 | 52.6 | 46.5 | 54.0 | 90.9 | 20.2 | 14.3 | 11.2 | 12.7 | 22.3 | 6.1 | 4.3 | 3.4 | 3.8 | 6.7 |
| QUERETARO, QRO. | 4.98 | 321.3 | 310.7 | 249.9 | 280.5 | 297.7 | 48.0 | 46.4 | 37.3 | 41.9 | 43.7 | 79.7 | 111.4 | 89.5 | 59.7 | 98.3 | 83.0 | 55.2 | 31.8 | 44.9 | 17.2 | 20.4 | 13.2 | 7.5 | 11.0 | 5.2 | 6.1 | 4.0 | 2.2 | 3.3 |
| CHETUMAL, Q. ROO. | 4.29 | 454.7 | 465.1 | 441.2 | 449.1 | 399.7 | 58.5 | 59.8 | 50.6 | 57.6 | 51.4 | 168.5 | 220.1 | 209.0 | 213.0 | 249.9 | 183.8 | 178.9 | 113.3 | 114.1 | 34.5 | 40.3 | 31.0 | 28.8 | 26.0 | 10.9 | 12.1 | 9.3 | 8.0 | 8.4 |
| SAN LUIS POTOSI, S. L. P. | 4.97 | 257.8 | 292 | 247.9 | 290.6 | 264.6 | 38.4 | 43.5 | 37.0 | 43.3 | 39.4 | 20.7 | 60.9 | 77.7 | 93.5 | 63.3 | 45.2 | 47.7 | 49.7 | 26.9 | 4.5 | 11.1 | 11.5 | 11.6 | 7.1 | 1.3 | 3.3 | 3.4 | 3.5 | 2.1 |
| CULIACAN, SIN. | 4.75 | 310.4 | 299.6 | 171.6 | 279.2 | 272.3 | 44.2 | 42.7 | 24.4 | 39.6 | 38.8 | 41.5 | 48.2 | 24.4 | 40.7 | 40.7 | 35.9 | 15.1 | 21.6 | 18.6 | 9.0 | 8.8 | 3.6 | 5.1 | 4.6 | 2.7 | 2.6 | 1.1 | 1.5 | 1.4 |
| HERMOSILLO, SON. | 4.39 | 478.8 | 463.7 | 363.4 | 351.1 | 453.2 | 63.1 | 61.1 | 47.8 | 46.2 | 59.7 | 154.6 | 80.6 | 37.8 | 36.5 | 79.5 | 80.0 | 23.4 | 14.4 | 36.3 | 30.3 | 13.6 | 5.1 | 4.3 | 8.3 | 6.1 | 4.1 | 1.5 | 1.3 | 2.5 |
| VILLAHERMOSA, TAB. | 4.82 | 680.5 | 654.5 | 829.2 | 617.0 | 597.9 | 100.4 | 98.6 | 92.9 | 91.1 | 88.2 | 44.0 | 48.3 | 46.4 | 45.7 | 44.3 | 35.7 | 28.8 | 24.3 | 20.2 | 9.5 | 8.8 | 6.9 | 5.7 | 5.0 | 2.6 | 2.6 | 2.1 | 1.7 | 1.5 |
| CIUDAD VICTORIA, TAMP. | 4.24 | 291.0 | 302.4 | 302.4 | 284.2 | 271.8 | 37.0 | 38.5 | 38.5 | 36.1 | 34.6 | 34.6 | 57.4 | 61.2 | 57.3 | 68.0 | 42.7 | 37.7 | 30.5 | 31.0 | 7.3 | 10.5 | 9.1 | 7.2 | 7.6 | 2.2 | 3.1 | 2.7 | 2.2 | 2.1 |
| TLAXCALA, TLAX. | 5.14 | 211.5 | 188.4 | 181.5 | 189.4 | 318.9 | 32.6 | 29.0 | 28.0 | 26.1 | 40.2 | 53.1 | 43.5 | 48.4 | 57.1 | 122.1 | 32.5 | 30.0 | 30.4 | 55.7 | 11.6 | 6.0 | 7.2 | 7.2 | 13.7 | 3.4 | 2.4 | 2.1 | 2.1 | 4.1 |
| XALAPA, VER. | 4.6 | 349.4 | 320.6 | 265.6 | 283.3 | 269.0 | 48.2 | 44.2 | 40.8 | 39.1 | 37.1 | 41.0 | 37.0 | 34.7 | 31.0 | 29.4 | 27.8 | 21.2 | 18.5 | 13.4 | 8.9 | 6.9 | 8.1 | 3.6 | 3.3 | 2.7 | 2.1 | 1.5 | 1.2 | 1.1 |
| MERIDA, YUC. | 4.71 | 321.6 | 330.8 | 318.1 | 304.7 | 381.1 | 45.4 | 46.7 | 44.9 | 43.0 | 51.0 | 42.7 | 69 | 53.9 | 98.5 | 102.0 | 41.6 | 33.2 | 52.4 | 49.5 | 9.2 | 10.2 | 8.0 | 12.4 | 11.4 | 2.8 | 3.1 | 2.4 | 3.7 | 3.4 |
| ZACATECAS, ZAC. | 4.89 | 312.3 | 312 | 284.4 | 275.6 | 269.4 | 45.8 | 45.7 | 41.7 | 40.4 | 39.5 | 138.8 | 152.2 | 136.9 | 75.5 | 223.9 | 113.3 | 85.5 | 40.2 | 102.1 | 30.0 | 27.9 | 20.6 | 9.5 | 25.1 | 8.0 | 8.4 | 6.2 | 2.8 | 7.1 |
| PROMEDIO | 4.69 | 367.9 | 348.3 | 338.6 | 336.6 | 343.0 | 51.2 | 48.4 | 47.1 | 48.8 | 47.8 | 74.2 | 83.6 | 88.9 | 87.4 | 124.5 | 61.4 | 54.3 | 46.5 | 56.8 | 15.5 | 14.9 | 12.5 | 10.8 | 13.5 | 4.7 | 4.4 | 3.7 | 3.2 | 4.1 |

MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Salud.

MODIFICACION A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, SALUD AMBIENTAL. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION.

JAVIER CASTELLANOS COUTIÑO, Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4o. y 69-H de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 13, apartado A) fracción I, 118, fracción II y 119, fracción II de la Ley General de Salud; 41, 43, 45, 46, fracción II, y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 214, fracción IV y 225 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios, y 7, fracciones V y XIX y 25, fracción IV del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud, y

CONSIDERANDO

Que con fecha 16 de diciembre de 1999, en cumplimiento del acuerdo del Comité y de lo previsto en el artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el proyecto de la presente Norma Oficial Mexicana a efecto que dentro de los sesenta días naturales posteriores a dicha publicación, los interesados presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario.

Que con fecha 20 de junio de 2000, fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación las respuestas a los comentarios recibidos por el mencionado Comité, en términos del artículo 47 fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Que en atención a las anteriores consideraciones, contando con la aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, se expide la siguiente:

MODIFICACION A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, SALUD AMBIENTAL. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION

INDICE

0. Introducción
1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Límites permisibles de calidad del agua
5. Tratamientos para la potabilización del agua
6. Métodos de prueba
7. Concordancia con normas internacionales y mexicanas
8. Bibliografía
9. Observancia de la Norma
10. Vigencia
0. Introducción

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor.

Por tales razones la Secretaría de Salud, propone la modificación a la presente Norma Oficial Mexicana, con la finalidad de establecer un eficaz control sanitario del agua que se somete a tratamientos de potabilización a efecto de hacerla apta para uso y consumo humano, acorde a las necesidades actuales.

1. Objetivo y campo de aplicación

1.1 Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano.

1.2 Esta Norma Oficial Mexicana es aplicable a todos los sistemas de abastecimiento públicos y privados y a cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

2. Referencias

- | | |
|-----------------------|---|
| 2.1 NOM-008-SCF1-1993 | Sistema General de Unidades de Medida. |
| 2.2 NOM-012-SSA1-1993 | Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano-públicos y privados. |
| 2.3 NOM-013-SSA1-1993 | Requisitos sanitarios que debe cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo. |
| 2.4 NOM-014-SSA1-1993 | Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano, en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. |
| 2.5 NOM-112-SSA1-1994 | Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. |
| 2.6 NOM-117-SSA1-1994 | Bienes y Servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. |

3. Definiciones

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana se entiende por:

3.1 **Ablandamiento**, proceso de remoción de los iones calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua.

3.2 **Adsorción**, remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución.

3.3 **Agua para uso y consumo humano**, agua que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos para la salud. También se denomina como agua potable.

3.4 **Características microbiológicas**, debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y *Escherichia coli* o coliformes fecales.

3.5 **Características físicas y organolépticas**, las que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio

3.6 **Características químicas**, las debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

3.7 **Características radiactivas**, aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

3.8 **Coagulación química**, adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.

3.9 **Contingencia**, situación de cambio imprevisto en las características del agua por contaminación externa, que ponga en riesgo la salud humana.

3.10 **Desinfección**, destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos.

3.11 **Evaporación**, separación del agua de los sólidos disueltos, utilizando calor como agente de separación, condensando finalmente el agua para su aprovechamiento.

3.12 **Filtración**, remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada.

3.13 **Floculación**, aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos o hidráulicos.

3.14 Intercambio iónico, proceso de remoción de aniones o cationes específicos disueltos en el agua, a través de su reemplazo por aniones o cationes provenientes de un medio de intercambio, natural o sintético, con el que se pone en contacto.

3.15 Límite permisible, concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

3.16 Neutralización, adición de sustancias básicas o ácidas al agua para obtener un pH neutro.

3.16.1 Estabilización, obtención de determinada concentración de sales y pH del agua, para evitar la incrustación o corrosión de los materiales con que se fabrican los elementos que la conducen o contienen.

3.17 Osmosis inversa, proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltos en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño.

3.18 Oxidación, pérdida de electrones de un elemento, ion o compuesto por la acción del oxígeno u otro agente oxidante.

3.19 Potabilización, conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua en los sistemas de abastecimiento públicos o privados, a fin de hacerla apta para uso y consumo humano.

3.20 Sedimentación, proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas en el agua, por efecto gravitacional.

3.21 Sistema de abastecimiento de agua, conjunto de elementos integrados por las obras hidráulicas de captación, conducción, potabilización, desinfección, almacenamiento o regulación y distribución.

4. Límites permisibles de calidad del agua

4.1 Límites permisibles de características microbiológicas.

4.1.1 El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.

TABLA 1

| CARACTERISTICA | LIMITE PERMISIBLE |
|--|---------------------------|
| Organismos coliformes totales | Ausencia o no detectables |
| <i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termotolerantes | Ausencia o no detectables |

4.1.2 Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes podrán establecer los agentes biológicos nocivos a la salud que se deban investigar.

4.1.3 Las unidades de medida deberán reportarse de acuerdo a la metodología empleada.

4.1.4 El agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener *E. coli* o coliformes fecales u organismos termotolerantes en ninguna muestra de 100 ml. Los organismos coliformes totales no deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml; en sistemas de abastecimiento de localidades con una población mayor de 50 000 habitantes; estos organismos deberán estar ausentes en el 95% de las muestras tomadas en un mismo sitio de la red de distribución, durante un periodo de doce meses de un mismo año.

4.2 Límites permisibles de características físicas y organolépticas.

4.2.1 Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 2.

TABLA 2

| CARACTERISTICA | LIMITE PERMISIBLE |
|----------------|---|
| Color | 20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto. |
| Olor y sabor | Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico). |
| Turbiedad | 5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método. |

8.8 Guide to Selection of Water Treatment Processes. Carl L. Hamann Jr., P.E. J. Brock Mc. Ewen, P.E. Anthony G. Meyers, P.E.

8.9 Ingeniería Ambiental. Revista No. 23. Año 7. 1994.

8.10 Ingeniería Sanitaria Aplicada a la Salud Pública. Francisco Unda Opazo. UTEHA 1969.

8.11 Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Gordon M. Fair, John C. Geyer, Daniel A. Okun. Limusa Wiley. 1971.

8.12 Instructivo para la Vigilancia y Certificación de la Calidad Sanitaria del Agua para Consumo Humano. Comisión Interna de Salud Ambiental y Ocupacional. Secretaría de Salud 1987.

8.13 Importancia para la Salud Pública de los Indicadores Bacterianos que se Encuentran en el Agua Potable. Martín J. Allen. Organización Panamericana de la Salud. OMS. Lima Perú, 1996.

8.14 Integrated Design of Water Treatment Facilities. Susumu Kawamura. John Willey and Sons, Inc. 1991.

8.15 Manual de Normas de Calidad para Agua Potable. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1982.

8.16 Manual de Normas Técnicas para el Proyecto de Plantas Potabilizadoras Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1979.

8.17 Manual de Técnicas Analíticas del Laboratorio Nacional de Salud Pública. Secretaría de Salud.

8.18 Método de Tecnología de Substrato Definida para el Conteo Simultáneo Rápido y Específico de los Coliformes Totales y la *Escherichia coli* del agua. Stephen C. Edberg, Martín J. Allen & Darrell B. Smith. Journal Association Official Analytical Chemists (Vol. 74 No. 3, 1991).

8.19 Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-SSA1-1996 Vigilancia y evaluación del control de la calidad del agua para uso y consumo humano, distribuidas por sistemas de abastecimiento público.

8.20 Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios. Diario Oficial de la Federación. 18 de enero de 1988.

8.21 Regulaciones Nacionales Primarias del Agua Potable, Técnicas Analíticas bacteria coliform. Agencia de Protección Ambiental (USA). 1992.

8.22 Revision of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. IPS International Programme on Chemical Safety. United Nations Environment Programme International Labour Organization. World Health Organization. 1991.

8.23 WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 1. Recommendations. World Health Organization. 1992.

8.24 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th. Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 1995.

8.25 WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 2. Health Criteria and Other Supporting Information. Chapter 1: Microbiological Aspects. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1992.

9. Observancia de la Norma

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Salud en coordinación con los gobiernos estatales, municipales, el Gobierno del Distrito Federal, las Comisiones Estatales de Agua y Saneamiento y la Comisión Nacional del Agua, en sus respectivos ámbitos de competencia.

10. Vigencia

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los noventa días de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 20 de octubre de 2000.- El Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización Regulación y Fomento Sanitario, Javier Castejanos Coutiño.- Rúbrica.

4.3 Límites permisibles de características químicas.

4.3.1 El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

TABLA 3

| CARACTERISTICA | LIMITE PERMISIBLE |
|---|-------------------|
| Aluminio | 0,20 |
| Arsénico (Nota 2) | 0,05 |
| Bario | 0,70 |
| Cadmio | 0,005 |
| Cianuros (como CN ⁻) | 0,07 |
| Cloro residual libre | 0,2-1,50 |
| Cloruros (como Cl ⁻) | 250,00 |
| Cobre | 2,00 |
| Cromo total | 0,05 |
| Dureza total (como CaCO ₃) | 500,00 |
| Fenoles o compuestos fenólicos | 0,3 |
| Hierro | 0,30 |
| Fluoruros (como F ⁻) | 1,50 |
| Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l: | |
| Benceno | 10,00 |
| Etilbenceno | 300,00 |
| Tolueno | 700,00 |
| Xileno (tres isómeros) | 500,00 |
| Manganeso | 0,15 |
| Mercurio | 0,001 |
| Nitratos (como N) | 10,00 |
| Nitritos (como N) | 1,00 |
| Nitrógeno amoniacal (como N) | 0,50 |
| pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH | 6,5-8,5 |
| Plaguicidas en microgramos/l: | |
| Aldrin y dieldrin (separados o combinados) | 0,03 |
| Clordano (total de isómeros) | 0,20 |
| DDT (total de isómeros) | 1,00 |
| Gamma-HCH (lindano) | 2,00 |
| Hexaclorobenceno | 1,00 |
| Heptacloro y epoxido de heptacloro | 0,03 |
| Metoxicloro | 20,00 |
| 2,4 - D | 30,00 |
| Plomo | 0,01 |
| Sodio | 200,00 |
| Sólidos disueltos totales | 1000,00 |
| Sulfatos (como SO ₄ ⁻) | 400,00 |
| Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) | 0,50 |
| Trihalometanos totales | 0,20 |
| Yodo residual libre | 0,2-0,5 |
| Zinc | 5,00 |

Nota 1. Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

Nota 2. El límite permisible para arsénico se ajustará anualmente, de conformidad con la siguiente tabla de cumplimiento gradual:

TABLA DE CUMPLIMIENTO GRADUAL

| Límite permisible mg/l | Año |
|---------------------------|------|
| 0,045 | 2001 |
| 0,040 | 2002 |
| 0,035 | 2003 |
| 0,030 | 2004 |
| 0,025 | 2005 |

4.3.2 En caso de que en el sistema de abastecimiento se utilicen para la desinfección del agua, métodos que no incluyan cloro o sus derivados, la autoridad sanitaria determinará los casos en que adicionalmente deberá dosificarse cloro al agua distribuida, para mantener la concentración de cloro residual libre dentro del límite permisible establecido en la Tabla 3 de esta Norma.

4.4 Límites permisibles de características radiactivas.

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 4. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

TABLA 4

| CARACTERISTICA | LIMITE PERMISIBLE Bq/l |
|---------------------------|---------------------------|
| Radiactividad alfa global | 0,56 |
| Radiactividad beta global | 1,85 |

5. Tratamientos para la potabilización del agua

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe justificarse con estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad, cuando los contaminantes microbiológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua listados a continuación, excedan los límites permisibles establecidos en el apartado 4 de esta Norma.

5.1 Contaminación microbiológica.

5.1.1 Bacterias, helmintos, protozoarios y virus. Deben desinfectarse con cloro, compuestos de cloro, yodo, ozono, luz ultravioleta; plata iónica o coloidal; coagulación-sedimentación-filtración, filtración en múltiples etapas.

5.2 Características físicas y organolépticas

5.2.1 Color, olor, sabor y turbiedad - Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado.

5.3 Constituyentes químicos

5.3.1 Arsénico. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.2 Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.3 Cloruros. Intercambio iónico, ósmosis inversa o evaporación.

5.3.4 Dureza. Ablandamiento químico o intercambio iónico.

5.3.5 Fenoles o compuestos fenólicos. Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.

El cumplimiento del límite permisible de yodo residual libre, es de observancia obligatoria para los responsables de los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados, en los que se utiliza yodo como método de desinfección. La aplicación de yodo como alternativa de desinfección, deberá ser aprobada por la autoridad sanitaria correspondiente.

5.3.6 Hierro y/o manganeso. Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.7 Fluoruros. Alúmina activada, carbón de hueso u ósmosis inversa.

5.3.8 Hidrocarburos aromáticos. Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado.

5.3.9 Mercurio. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado granular u ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l. Adsorción en carbón activado en poivo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/l.

5.3.10 Nitratos y nitritos. Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración.

5.3.11 Nitrógeno amoniacal. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna.

5.3.12 pH (potencial de hidrógeno). Neutralización.

5.3.13 Plaguicidas. Adsorción en carbón activado granular.

5.3.14 Sodio. Intercambio iónico

5.3.15 Sólidos disueltos totales. Coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o intercambio iónico.

5.3.16 Sulfatos. Intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.17 Sustancias activas al azul de metileno. Adsorción en carbón activado.

5.3.18 Trihalometanos. Oxidación con aireación u ozono y adsorción en carbón activado granular.

5.3.19 Zinc. Evaporación o intercambio iónico.

5.4 En el caso de contingencia, resultado de la presencia de sustancias especificadas o no especificadas en el apartado 4, las autoridades locales, la Comisión Nacional del Agua, los responsables del abastecimiento y los particulares, instituciones públicas o empresas privadas, involucrados en la contingencia, deben coordinarse con la autoridad sanitaria competente, para determinar las acciones que se deben realizar con relación al abastecimiento de agua a la población.

6. Métodos de prueba

La selección de los métodos de prueba para la determinación de los parámetros definidos en esta Norma, es responsabilidad de los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, y serán aprobados por la Secretaría de Salud a través del área correspondiente. Deben establecerse en un Programa de Control de Calidad Analítica del Agua, y estar a disposición de la autoridad competente, cuando ésta lo solicite, para su evaluación correspondiente.

7. Concordancia con normas internacionales y nacionales

Esta Norma Oficial Mexicana no es equivalente a ninguna norma internacional.

8. Bibliografía

8.1 Directrices Canadienses para la Calidad del Agua Potable 6ta. edición. Ministerio de Salud. 1996.

8.2 Desinfección del Agua. Oscar Cáceres López Lima, Perú. Ministerio de Salud. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1990.

8.3 Guías para la Calidad del Agua Potable. Volumen 1. Recomendaciones. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1985.

8.4 Guías para la Calidad del Agua Potable. Volumen 1. Recomendaciones. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1995.

8.5 Guías para la Calidad del Agua Potable. Volumen 2. Criterios relativos a la salud y otra información de base. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1987.

8.6 Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Oficiales Mexicanas. Proyecto de Revisión. SECOFI. 1992.

8.7 Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1995.

Capítulo 1

1 LA DEMANDA Y OFERTA DE AGUA DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO

1.1 Generalidades de la cuenca del Valle de México.

1.1.1 El Valle de México.

El Valle de México, asiento de la ZMCM se encuentra completamente rodeado por montañas, las altitudes de su planicie central oscilan entre los 2240 y 2390 metros sobre el nivel del mar y constituye una cuenca cerrada con un área de 10,000 Km², sin salidas naturales para los escurrimientos que se generan dentro de la misma.

1.1.2 Clima, lluvias y ríos.

El clima del Valle de México se clasifica como subtropical de altura, templado, semiseco y sin estación invernal bien definida. La temperatura media anual es de unos 15°C. En general las lluvias ocurren de mayo a octubre, y la época de secas abarca todo el resto del año. La precipitación media anual equivale a una lámina de 700 milímetros.

La distribución temporal de la lluvias en el Valle de México es muy desfavorable desde el punto de vista de su aprovechamiento y regulación ya que casi la totalidad de la precipitación anual se concentra en un número muy reducido de tormentas. Así, durante una sola tormenta es posible que se precipite entre el 7% y el 10% de la lluvia media anual; de este volumen, mas del 50% se precipita en tan solo 30 minutos², lo que provoca avenidas que deben integrarse al drenaje para evitar inundaciones ya que no cuenta con sitios suficientes para regularizar el agua de lluvia, por estar asentada la población en la parte mas baja del Valle y por la necesidad de desalojarla rápidamente con el fin de evitar problemas viales.

Desde el punto de vista hidrográfico, el Valle de México puede dividirse en once zonas:

La zona I comprende las cuencas de los ríos que descienden de la sierra del Chichinautzin, la cual presenta formaciones basálticas de gran permeabilidad. Las corrientes de esta zona las forman los ríos San Gregorio, San Lucas, Santiago y San Buenaventura.

² "El Sistema Hidráulico del Distrito Federal, Un Servicio Público en Transición" DGCOH, México D.F., 1982.

Las zonas II y III incluyen el área urbanizada de la ciudad de México y los ríos que bajan hacia ella desde el poniente del Valle. Estas corrientes son intermitentes, salvo los ríos Magdalena, Mixcoac, Tacubaya, Hondo y Tlanepantla, los cuales tienen escurrimientos perennes.

La zona IV abarca las cuencas desde los ríos Tepoztlán y Cuautitlán, que se originan en el noroeste del Valle. Las zonas V y VI corresponden básicamente a las cuencas de los ríos de las Avenidas de Pachuca y San Juan Teotihuacán, respectivamente.

En la zona VII se incluyen los ríos que desembocan en el lago de Texcoco por el oriente. La zona VIII, localizada también en el oriente, comprende los ríos que se sitúan entre el San Francisco y el Milpa Alta. Finalmente, las zonas IX, X y XI se extienden desde la cuenca del río Tizar hasta las corrientes alimentadoras del río Tecocomulco; en un principio estas zonas no formaban parte de la cuenca, pero se incorporaron a ella en forma artificial.

En la figura 1 se muestra la hidrografía de la cuenca del Valle de México.

1.1.3 Geología y agua subterránea.

Las características espaciales y temporales del agua superficial han impedido que este recurso se aproveche en mayor medida para satisfacer las necesidades de las poblaciones ubicadas dentro del Valle de México, en especial la del Distrito Federal. Por ello, los manantiales y los acuíferos, íntimamente ligados entre sí, han jugado un papel fundamental en la tarea de saciar la sed de la ciudad.

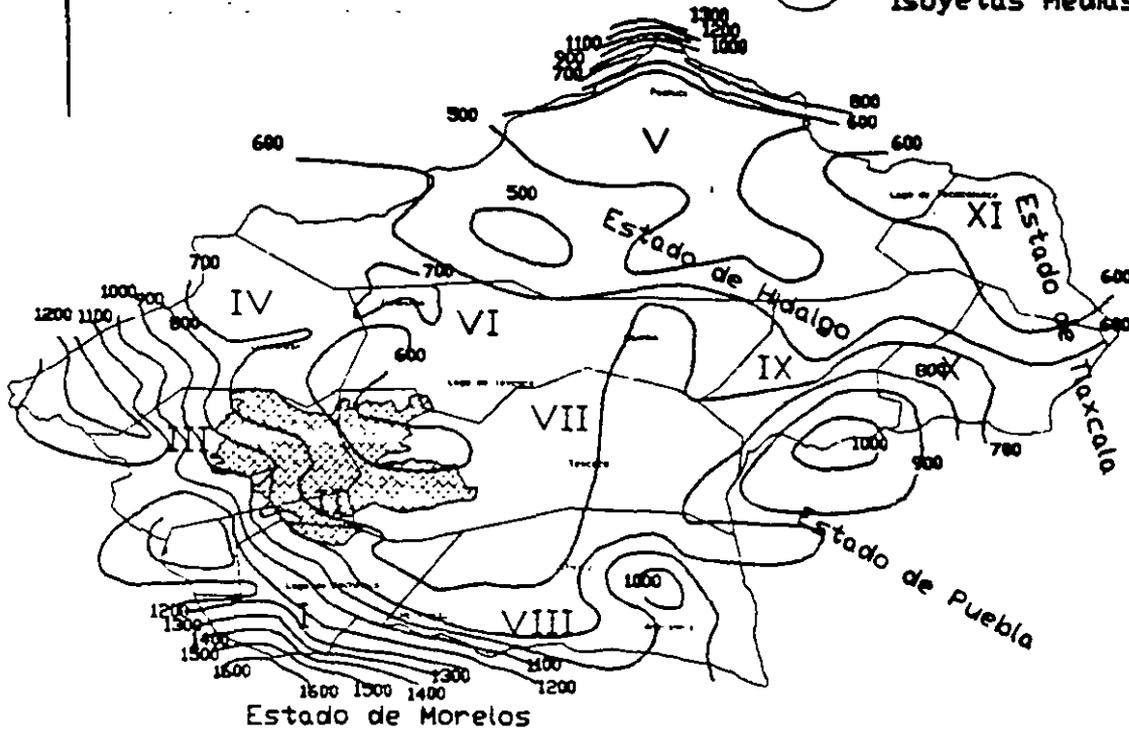
El abastecimiento de agua se resolvió en un principio mediante el empleo de los manantiales del Valle, pero estos fueron desapareciendo al abatirse el nivel piezométrico por causa del bombeo al que fueron sujetos los acuíferos para tratar de aumentar el caudal. La extracción de agua del subsuelo se inició a mediados del siglo pasado², lo que ocasionó el hundimiento del terreno. Este problema se relaciona con la hidrología de los acuíferos, con los fenómenos geológicos de estratigrafía tectónica y sedimentología que determinaron las fronteras de dichos acuíferos, y con las características físicas de los materiales que los conforman.

Desde el punto de vista geohidrológico, la cuenca del Valle de México es una gran olla cuyas paredes y fondo impermeables están constituidos por rocas volcánicas (andecitas y dacitas) del Terciario Medio y del Terciario Superior. Dicha olla está rellena de sedimentos fluviales, lacustres y volcánicos que se produjeron en el Cuaternario Reciente al cerrarse la cuenca por el sur, y contiene rocas y clásticos de erupciones basálticas de todo el periodo cuaternario. Estas últimas son formaciones permeables y de alta porosidad, incluyendo a la sierra del Chichinautzin, por lo que geohidrológicamente es probable que la cuenca no sea cerrada hacia el sur y que el Valle de México esté conectado con el de Cuernavaca. Sobre las andecitas localizadas al este, oeste y norte de la ciudad de México, descansa la formación Tarango, constituida en el Plioceno por clásticos sedimentados, depósitos de pie de monte, proclásticos conglomerados fluviales y horizontes de piedra pómez; su constitución es muy variada y tiene alguna cementación, por lo que no es muy permeable².



Figura 1
Hidrografía de la Cuenca del Valle de México

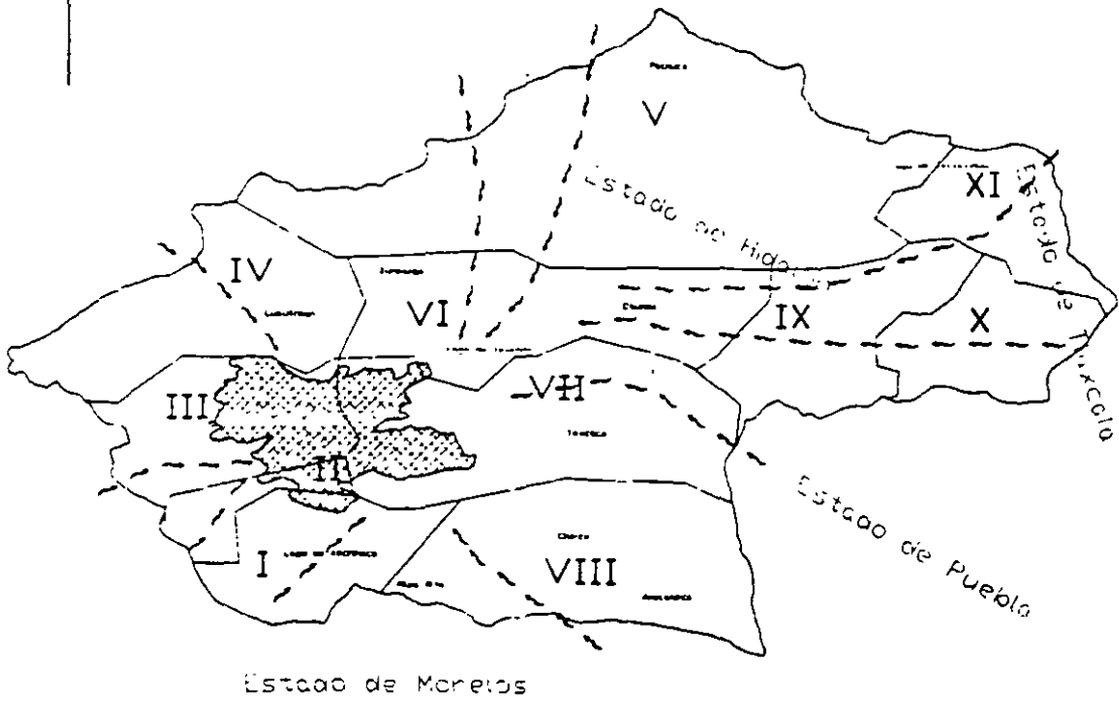
-  Ciudad de México
-  Limite de zonas hidrologicas
-  Isoyetas medias anuales



ISOYETAS ANUALES EN LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO



-  Ciudad de México
-  Limite de zonas hidrologicas
-  Sentido del escurrimiento



En la parte central del Valle los depósitos son de origen fluvial o lacustre muy reciente. En esta porción la permeabilidad depende principalmente del tamaño del sedimento, el cual varía desde arenas gruesas hasta arcillas, como consecuencia de las variaciones climáticas producidas por el crecimiento y reducción de la superficie de los lagos situados en el centro del Valle. Los últimos 100 mil años fueron de mucha humedad y actividad volcánica; en este período se formaron los depósitos potentes de arcillas de origen volcánico cuya estructura, formada en un ambiente húmedo se compone de grandes huecos rellenos de agua. Estos depósitos son impermeables, están cubiertos por una capa de suelo vegetal o relleno artificial muy reciente y descansan sobre intercalaciones de arenas, limos y arcillas más permeables en el fondo de la olla geohidrológica².

Los estratos de arcilla superior e inferior del subsuelo juegan un papel muy importante para la ciudad de México ya que, por un parte, son el lugar donde descansan los cimientos de sus construcciones, y por otra, constituyen mantos que ceden agua, lo cual implica que estos estratos sufran asentamientos al abatirse las presiones en el acuífero profundo por causa del bombeo.

A mediados del siglo pasado se inició la explotación de agua subterránea mediante pozos someros carecientes de control de los que se extraía un caudal importante². Más tarde, a principios de este siglo comenzó la extracción de agua a partir de pozos profundos, dando inicio a otro de los problemas más graves en la ciudad, el hundimiento del terreno.

La sobreexplotación de los acuíferos también ha producido cambios en la calidad físico-química del agua subterránea que se extrae, puesto que se llegan a explotar mantos de agua subterránea que han estado muchos años en contacto con minerales que se disuelven en esta.

1.1.4 Balance Hidrológico.

En la época en que se fundó la Gran Tenochtitlan, el funcionamiento hidrológico del Valle de México había producido una serie de lagos y lagunas. Extensos bosques cubrían las laderas montañosas y mantenían fijo el suelo de estas áreas, por lo que los escurrimientos contenían poco azolve. Los depósitos subterráneos, llenos a su capacidad, mantenían el flujo de numerosos manantiales. El suelo era relativamente estable; la evaporación y transpiración de los lagos, así como la vegetación, propiciaban un clima confortable y menos variable que el actual. En esa época, el balance hidrológico permanecía prácticamente inalterado por los pobladores del Valle. El volumen de lluvia que no se perdía por evapotranspiración, se depositaba en los lagos y lagunas y posteriormente se evaporaba durante la época de secas². Con el transcurso del tiempo, los habitantes del Valle han modificado el funcionamiento descrito: la cubierta vegetal se ha alterado, las zonas de recarga han disminuido por la creciente urbanización; se aprovecha una pequeña parte del agua superficial que se regula mediante presas y el resto se desaloja fuera de la cuenca, se contamina el agua y desde 1951 ha sido necesario traerla desde otras cuencas, ya que la existente en el

Valle ha resultado insuficiente para satisfacer las necesidades impuestas por el crecimiento demográfico.

El volumen de lluvia media anual, arroja un caudal medio equivalente a 213 m³/s. Se estima que de este caudal se evapotranspiran 171 m³/s que, por lo tanto, no son susceptibles de aprovechamiento². De los 42 m³/s restantes, 23 recargan el acuífero² y 19 escurren superficialmente; de estos últimos se regulan 1.6 m³/s para su aprovechamiento² y se desalojan los 17.4 restantes a través de los drenajes del Valle para evitar inundaciones ya que, como se ha mencionado, la mayor parte del escurrimiento superficial ocurre en periodos muy cortos durante los cuales se concentran grandes caudales, los cuales no pueden regularse.

En el año de 1995 el balance hidrológico presentó las siguientes características:

Por lo que respecta al abastecimiento de agua, para satisfacer los requerimientos de 67.6 m³/s de los usuarios en la cuenca³, se importaron 5.9 m³/s de agua de los acuíferos de la cuenca del río Lerma³ y 13.5 m³/s de la cuenca del río Cutzamala⁴. De los acuíferos sobreexplotados del Valle de México, se extrajeron 37.6 m³/s; de ellos, 23 m³/s provinieron del caudal que se renueva anualmente mediante el proceso de infiltración, y 14.6 m³/s del volumen almacenado en el subsuelo durante los milenios en que no se explotaban los acuíferos. Para completar el abastecimiento, se emplearon 5.5 m³/s de aguas residuales tratadas³, 1.6 m³/s de aguas superficiales reguladas y una reducción de 3.5 m³/s según el Programa de Uso Eficiente del Agua³.

De los 64.1 m³/s el 63% son destinados al Distrito Federal y el 37% restante a los municipios conurbados del Estado de México.

En cuanto al consumo, el 67% del caudal suministrado es destinado al uso habitacional, el 17% a las industrias y el 16% restante se emplea en los comercios y servicios³.

1.1.5 Problemas actuales.

La extracción de agua del subsuelo del Valle de México es superior a la que se infiltra. Esto provocó abatimientos de los niveles freáticos en algunos sitios hasta de 7 metros en el periodo de (1986 - 1992) y la disminución paulatina de los caudales extraídos². Además, la sobreexplotación induce la degradación de la calidad físico-química del agua en algunas zonas, y en otras, se requiere del saneamiento para evitar la contaminación con aguas residuales, cuyas consecuencias serían incalculables.

Durante la explotación del acuífero se han presentado hundimientos del terreno, en promedio de 10 centímetros anuales², aunque existen valores extremos de 40 centímetros. Los hundimientos afectan el funcionamiento de la infraestructura

³ **Agua 2000, Estrategia para la Ciudad de México*, DDF, DGCOH, México D.F., 1994.

⁴ Registros de entrega de agua al Sistema Cutzamala de las presas Villa Victoria, Valle de Bravo y bombeo Chilesdo proporcionados por la Comisión Nacional del Agua, abarcando el periodo (1982-1994).

hidráulica y provocan daños en las edificaciones. Para el caso particular del drenaje, han obligado la construcción de plantas de bombeo e infraestructura compleja y costosa para evacuar las aguas residuales y pluviales.

La distribución de agua aún no es uniforme en toda la ciudad. Generalmente en zonas de crecimiento desordenado el suministro es problemático y costoso, jugando un papel importante la ubicación de las fuentes de abastecimiento, el derroche del recurso, la falta de infraestructura para conducir mayores volúmenes de agua a las zonas donde se presentan las mayores deficiencias, así como una defectuosa comercialización y administración del agua.

1.2 Composición de la demanda y evolución histórica.

La demanda de agua potable en el Valle de México ha sido y será una función del número de habitantes que en ella habitan, así como del tipo de actividad que desarrollan, ya que dependiendo del nivel de desarrollo o nivel socioeconómico, esta demanda puede variar y acrecentarse provocando que las fuentes de abastecimiento sean insuficientes ya que son sometidas a explotaciones mayores a las planeadas, además de repercutir directamente en problemas como lo son el hundimiento del terreno y la degradación de la calidad del agua.

Como resultado de la sobreexplotación y mal manejo del agua, ésta ha tenido que importarse desde fuentes externas a la cuenca del Valle dando solución a una parte del problema ya que han incrementado el caudal proporcionado a la ZMCM, sin embargo el crecimiento demográfico desmesurado ha creado nuevas necesidades de servicios siendo el más importante el suministro de agua potable.

1.2.1 Evolución histórica de la demanda.

En la época prehispánica y colonial la demanda de agua de la población era totalmente satisfecha por manantiales, los que se recargaban año con año gracias a que el balance hidrológico se mantenía en equilibrio. Lo anterior fue debido a que el crecimiento de la población durante este periodo se mantuvo constante o empezaba a dar luces de desarrollarse a una mayor velocidad debido a la concentración de la actividad económica en el Valle.

Durante el siglo XIX, el crecimiento demográfico ocasionó que la demanda fuera superior al abastecimiento proporcionado por los manantiales, provocando que se tuvieran que perforar los primeros pozos someros², comenzando así la explotación del acuífero. Cabe mencionar que con la explotación del acuífero comenzaron los problemas de hundimientos, así como la disminución en los niveles freáticos, cuya consecuencia fue la reducción en los caudales de los manantiales.

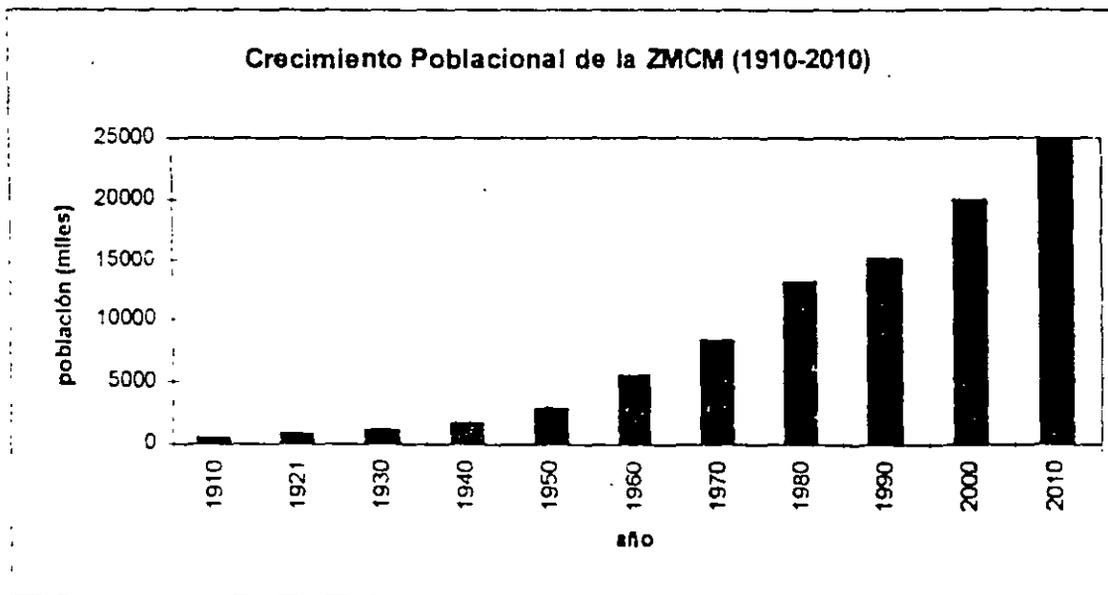
El presente siglo se ha caracterizado por tener la mayor tasa de crecimiento que se haya presentado jamás debido a la alta concentración de la actividad económica. El área urbana del Distrito Federal se ha incrementado llegando a formar la ZMCM, la cual incluye a 11 municipios del Estado de México.

La demanda de agua en los inicios del siglo XX se logró satisfacer mediante la intensificación de la explotación del acuífero y la perforación de los primeros pozos profundos², lo cual agravó los problemas de hundimientos y abatimiento de niveles y pasado algunos años llegó a ser insuficiente frente a la demanda de la población.

A mediados del presente siglo entró en funcionamiento el Sistema Lerma, primer fuente de abastecimiento externa a la cuenca del Valle. Asimismo, la explotación del acuífero continuó mediante la perforación de pozos profundos, pero debido al crecimiento demográfico fue necesario buscar otras fuentes externas para abastecimiento, de las cuales se eligió la cuenca del río Cutzamala, iniciándose la operación del Sistema que lleva su nombre en el año de 1982.

Actualmente en la ZMCM viven 18.5 millones de habitantes. De ellos residen en el Distrito Federal 9.1 millones, más la población flotante que entra y sale diariamente de esta entidad³.

Figura 2 Crecimiento Poblacional de la ZMCM ²



1.2.2 Demanda de la zona Toluca - Lerma.

Además de la demanda de la ZMCM, es posible contemplar la demanda futura de la Ciudad de Toluca y sus municipios conurbados, ya que dependiendo del gasto que se obtenga de la cuarta etapa del Sistema Cutzamala y por las limitaciones físicas del mismo al tener como gasto de diseño 24 m³/s, sería factible incrementar el abastecimiento a esta zona en 1 m³/s sin afectar la infraestructura actual y hasta en 2 m³/s mediante modificaciones en su infraestructura de distribución.

En el año de 1995 los requerimientos de agua para estos municipios se estima que fueron del orden de 2.7 m³/s, de los cuales el 81% (2.2 m³/s) provienen del acuífero del Lerma y el resto (19%) 0.5 m³/s los aporta en forma emergente el Sistema Cutzamala⁵.

A partir de 1999 y dependiendo del costo, podría disponerse de agua adicional del Sistema Cutzamala para Toluca y sus municipios. Si su demanda crece a una tasa anual del 2%, 1 m³/s de agua adicional cubriría hasta el año 2011 y con 2 m³/s aseguraría el suministro hasta el año 2023.

Dependiendo de las alternativas de ampliación que se analizarán más adelante, los requerimientos de agua para el Sistema Cutzamala se pueden ubicar entre 24 y 26 m³/s, 24 m³/s para el Valle de México y de 1 a 2 m³/s para Toluca.

1.2.3 Proyección de la demanda.

En el futuro, será necesario contar con agua suficiente para cubrir la demanda que se derive del incremento en la población y en la actividad económica, así como la que se requiera para reducir la sobreexplotación de las fuentes de abastecimiento subterráneas del Valle de México.

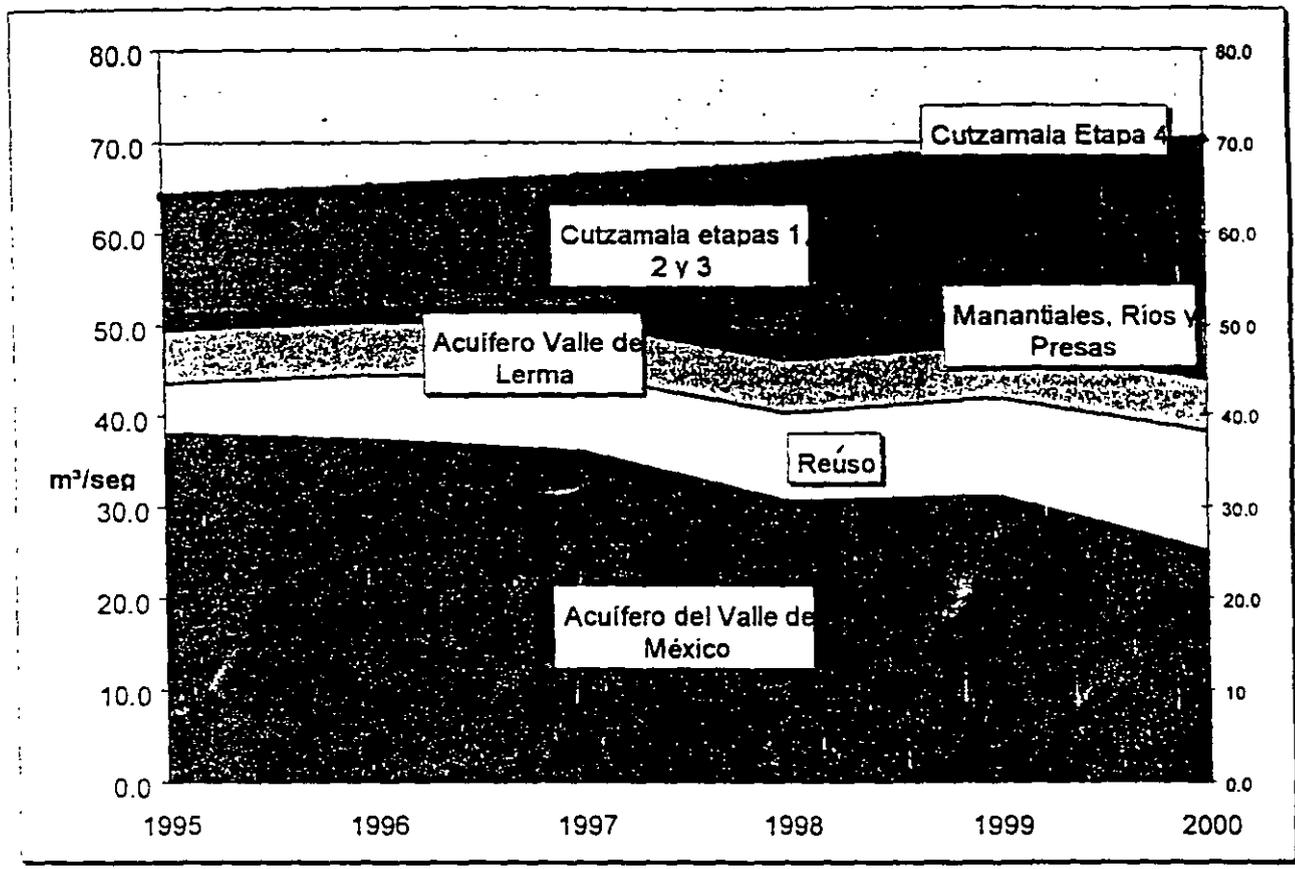
De acuerdo con las proyecciones publicadas por el Departamento del Distrito Federal³, la demanda de la ZMCM pasaría de 67.6 m³/s estimados en 1995 a 79.4 m³/s para el año 2000. Si se considera que el Programa de Uso Eficiente del Agua (PUEDA) plantea ahorros del orden de 9.1 m³/s hacia el año 2000, la demanda neta disminuiría a 70.3 m³/s. Para atender esta demanda y reducir la explotación del acuífero a su nivel de recarga, se ha planteado la siguiente estrategia:

- Continuar con el Programa de Uso Eficiente de Agua (PUEDA).
- Incrementar el reúso de aguas residuales tratadas hasta llegar a casi 13 m³/s.
- Un ligero incremento en el aprovechamiento de manantiales, ríos y presas.
- La incorporación completa de la etapa 3 del Sistema Cutzamala y la ejecución de la cuarta etapa con la que se agregan 5 m³/s, completando con esta fuente 24 m³/s, para una participación del 34% del suministro total.

⁵ Censo de Población y Vivienda. Varios años. INEGI. Plan Maestro Edo. de México.

Según lo planeado, el Sistema Cutzamala aportará para el año 2000 el 34% del agua de la ZMCM, y un porcentaje muy importante al Distrito Federal.

Figura 3 Requerimientos de agua y fuentes de abastecimiento³ (1995 - 2000)



1.3 Fuentes de abastecimiento y evolución histórica.

La tarea hidráulica de abastecer de agua a la ZMCM, debe atender por una parte, la demanda que provoca el incremento poblacional anual estimado en novecientos mil habitantes³, y por otra reducir la sobreexplotación de las fuentes de abastecimiento subterráneas en el Valle de México.

El abasto de agua en la ciudad se logra con una de las infraestructuras más grandes y complejas del mundo desde el punto de vista operativo, construida a lo largo de varias décadas y una gran inversión acumulada. Tan solo en el Distrito Federal se cuenta con 514 Kilómetros de acueductos a 279 tanques de almacenamiento, con capacidad conjunta de 1,700 millones de litros, de donde se distribuye a los usuarios mediante mas de 10,700 Kilómetros de redes primaria y secundaria (red secundaria es aquella cuyos diámetros son menores a 0.5 metros y en la red primaria sus diámetros varían de 0.5 a 1.83 metros)². Adicionalmente, se utilizan 227 plantas de bombeo para incrementar la presión en la red y dotar de agua a los habitantes de las partes altas³.

Para preservar la calidad del agua, se utilizan 16 plantas potabilizadoras, de las cuales 12 funcionan a pie de pozo, y 360 dispositivos de cloración³. Asimismo, se efectúan constantes inspecciones sanitarias a las instalaciones del sistema y se lleva a cabo un programa permanente de muestreo, el cual comprende anualmente la realización de mas de 50,000 análisis físicos, químicos y biológicos³.

La Secretaría de Salud certifica la calidad del agua suministrada mediante un muestreo suplementario, lo que ha permitido obtener anualmente el certificado de calidad del agua en el Distrito Federal desde 1982, fecha en que fue establecido en la ley de salud³.

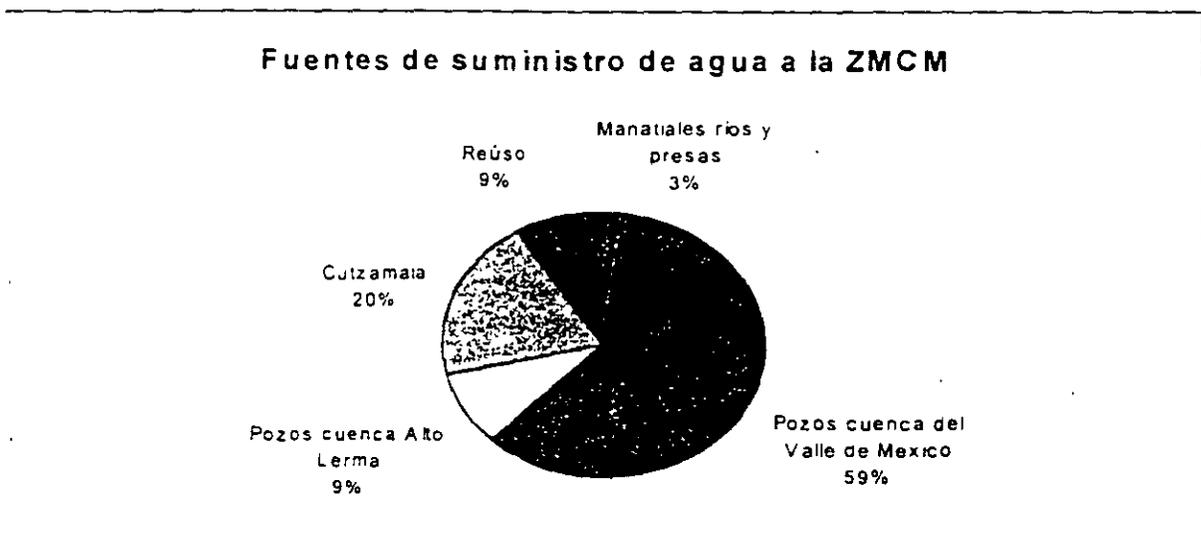
Se cuenta con un laboratorio de control de calidad del agua, donde es posible analizar más de 250 parámetros físicos, químicos y biológicos. Lo que puede permitir la detección de virus, bacterias y metales pesados en muestras de agua potable, residual, pluvial y residual tratada³. El porcentaje de las muestras que cumplen con los criterios de Secretaría de Salud en cuanto a cloro residual y bacteriología en la red de distribución, es de 94% y 91%, respectivamente, lo que es superior al 80% establecido por dicha Secretaría³.

En el año de 1995 el suministro de agua potable fue de aproximadamente 64 m³/s, provenientes de las siguientes fuentes:

- 37.6 (58.7%) m³/s Subsuelo del Valle de México.
- 5.9 (9.2%) m³/s Sistema Lerma.
- 13.5 (21.1%) m³/s Sistema Cutzamala.
- 1.6 (2.5) m³/s Aprovechamientos Superficiales.

Independientemente de los caudales de reuso de agua que fueron del orden de 5.5 (8.6%) m³/s, para cubrir ciertas necesidades de servicio público, riego de parques y jardines y algunos usos industriales³.

Figura 4 Fuentes de suministro de agua en el año de 1995.



El problema más importante de las fuentes de abastecimiento de agua de la Ciudad de México, es que se ha basado en la sobreexplotación del acuífero del Valle de México. A la obtención de 38 m³/s para agua potable, se debe agregar una extracción adicional de alrededor de 7 m³/s para otros usos², principalmente para riego, lo que implica una sobreexplotación de un poco más del 100%, ya que la recarga anual es del orden de 23 m³/s.

1.3.1 Evolución histórica del abastecimiento de agua potable.

En el año de 1325 el pueblo de los aztecas fundó, a 2240 metros sobre el nivel del mar, en un llano rodeado por lagos y por sierras de más de 5,000 metros de altura, una ciudad que en poco tiempo se convirtió en el centro indígena más importante de la región: la Gran Tenochtitlán, hoy Ciudad de México, Distrito Federal, cuya historia guarda una estrecha relación con las características hidrológicas del Valle de México descritas anteriormente.

Desde la época prehispánica fue necesario responder con obras de gran envergadura a situaciones en las que, por abundancia o escasez de agua, muchas veces alternadas, se convertían en inundaciones, sequías y hambrunas. El sistema hidráulico actual es producto de acciones realizadas durante 657 años, a partir de la fundación de México - Tenochtitlán².

Época prehispánica y colonial.

Esta primera etapa, que se extendió hasta fines del siglo XVIII, se caracterizó por las fluctuaciones en los niveles de los lagos que concentraban los escurrimientos del Valle de México².

En un principio, aunque no ocurriesen tormentas extraordinarias, bastaba que en varios años sucesivos se presentaran veranos relativamente lluviosos para que el nivel de los lagos se elevase progresivamente a causa de que se trataba de una cuenca cerrada, sin desagües naturales. Los islotes y riberas de los lagos ofrecieron a los primeros asentamientos indígenas condiciones inmejorables de seguridad y supervivencia. Sin embargo, conforme se desarrolló el predominio de los aztecas, el asentamiento de Tenochtitlán se extendió hacia las superficies disponibles o hacia aquellas que se ganaban a los propios lagos. Por ello, el valor de los terrenos se elevó al acumularse la riqueza humana y material, y la fluctuación en los niveles de los lagos comenzó a ocasionar daños cuantiosos. El problema se enfrentó mediante bordos y diques de contención; en 1450, Netzahualcóyotl, rey de Texcoco, por encargo del rey Azteca Moctezuma, diseñó y dirigió la construcción de un albardón o dique de 16 Kilómetros de longitud para proteger la Gran Tenochtitlán del azote frecuente de inundaciones².

Por otra parte, el abastecimiento de agua provenía en esa época de manantiales, y Netzahualcóyotl fue quien construyó también el acueducto de Chapultepec para conducir el agua hasta la ciudad².

Después de la conquista de México, consumada por los españoles en 1521, las autoridades coloniales siguieron el sistema de los aztecas para contener las aguas mediante diques, algunos de los cuales servían también como calzadas, y con manantiales y acueductos para el abastecimiento de agua; sin embargo, las lluvias torrenciales continuaban ocasionando graves inundaciones. En 1604 y 1607 ocurrieron inundaciones provocadas principalmente por los escurrimientos del río Cuautitlán, las cuales ocasionaron cuantiosas muertes y daños materiales. Para resolver este problema, Enrico Martínez propuso a las autoridades la construcción de un túnel en la zona de Nochistongo, localizada al noroeste del Valle de México, con lo cual dejó de ser una cuenca cerrada al contar con su primer salida artificial. Sin embargo, poco tiempo después quedó inutilizable debido a derrumbes por falta de revestimiento, por lo que se decidió cambiarlo por un gran tajo o zanja que se terminó después de 160 años de trabajo; así, a partir de 1789 se dio salida permanente a las aguas del río Cuautitlán².

El siglo XIX.

La salida de la cuenca por el tajo de Nochistongo empezó a alterar la ecología del Valle e inició un nuevo proceso. En esta segunda etapa, el nivel de los lagos ya no crecía como en la primera; por el contrario, los diques crearon áreas seguras, propias para que la ciudad se extendiese por las planicies lacustres. La población y la riqueza se concentraron aún más en las orillas de los antiguos lagos; sin embargo, estas zonas resintieron cuantiosos daños al ser afectadas por inundaciones cuando los ríos que atravesaban la ciudad se salían de su cauce y ocupaban las áreas bajas.

El abastecimiento de agua proporcionado por los manantiales resultó insuficiente, por lo que se empezaron a perforar pozos someros; en 1847 existían casi 500 pozos y más de 1,000 en 1886. Posiblemente el hundimiento de la ciudad haya empezado en esas fechas a juzgar por las nivelaciones realizadas de 1891 a 1895, las cuales registraron un descenso de 5 centímetros por año. Además, el nivel freático disminuyó a causa de la extracción y, en consecuencia, también se redujo el caudal de los manantiales de Chapultepec².

Los primeros 75 años del siglo XX.

La construcción del Gran Canal y del Túnel de Tequisquiac propició nuevos asentamientos humanos y mayor concentración de la población y de la riqueza; estas condiciones, junto con el desarrollo industrial, hicieron crecer las necesidades de abastecimiento de agua.

La extracción de los pozos debió incrementarse poco hasta 1936, a juzgar por la evolución de los hundimientos, los cuales se mantuvieron en alrededor de 5 centímetros por año, posiblemente gracias a que en 1913 se terminó el acueducto que captaba las aguas de los manantiales de Xochimilco, con un caudal de 2.6 m³/s. De 1936 a 1944 se advierte una deficiencia en las fuentes de agua para satisfacer la demanda de una población que crecía rápidamente, y en ese lapso el gobierno de la ciudad inició la perforación de los primeros 93 pozos profundos; lo anterior ocasionó que el hundimiento en el centro de la ciudad se incrementara a 18 centímetros por año entre 1938 y 1948².

El déficit en el abastecimiento de agua a la ciudad, hizo que en 1942 se iniciaran las obras para captar los manantiales del río Lerma en el Valle de Toluca. Estas obras se retrasaron hasta 1951, año en el que todavía se perforaron otros 10 pozos municipales profundos.

En 1947 Nabor Carrillo presentó un trabajo técnico en el que, con datos cuantitativos, dejaba claro que la Ciudad de México se hundía principalmente por el abatimiento de las presiones en el acuífero localizado debajo de ella. Este trabajo creó conciencia de la necesidad de no agravar el problema, sobre todo en el centro de la ciudad, y hacia 1954 se suspendieron los permisos para perforar pozos particulares.

No obstante, en 1955 hubo necesidad de perforar unos 10 pozos municipales y, a pesar de que en 1957 se inauguró el acueducto de los pozos de Chiconautla con un caudal de 3 m³/s, y en 1958 el de los pozos de Peñón, con un caudal de 1 m³/s, entre 1960 y 1967 se perforaron alrededor de otros 50 pozos municipales, esta vez alejados del centro de la ciudad, pero muchos de ellos situados en zonas arcillosas, por lo que también causaron hundimientos; sin embargo, gracias a su ubicación los hundimientos en el centro, se redujeron notablemente entre 1960 y 1970².

Ante el aumento de la demanda de agua y en los costos para satisfacerla, se vio la conveniencia de tratar las aguas residuales para evitar el empleo de agua potable en los usos que no requieren de esa calidad.

En 1954 se comenzó a operar la primera planta de tratamiento de aguas residuales, ubicada en el Bosque de Chapultepec; las aguas residuales tratadas se emplean en el riego de áreas verdes y en el llenado de lagos.

A pesar de todas las acciones tomadas, la demanda de la ciudad no quedaba satisfecha. Los manantiales de Xochimilco debieron bombearse hasta agotarlos y en 1964 hubo que perforar en esa zona baterías de pozos para suplir el caudal de los manantiales

En 1967 se incrementó la aportación proveniente del Lerma en 4 m³/s mediante nuevas baterías de pozos; en 1973 se perforaron más pozos en el área de Xochimilco; en 1977 entró a la red de abastecimiento el caudal de los pozos perforados por la CAVM en el sur de la ciudad (a lo largo del Anillo Periférico y en Tláhuac - Netzahualcóyotl) y al norte del Valle (en la zona Los Reyes - Teoloyucan), los cuales aportan al ZMCM 3.0 m³/s y 6.5 m³/s, respectivamente².

Por otra parte, el asentamiento del subsuelo ocasionado por la sobreexplotación de los acuíferos, deterioró el drenaje y disminuyó su capacidad para desalojar las aguas

residuales y pluviales del Valle de México, lo que motivó la ampliación del Gran Canal y la construcción del segundo túnel de Tequisquiac.

En el centro del Distrito Federal los hundimientos hicieron que el drenaje, proyectado para trabajar por gravedad, requiriera de bombeo para elevar las aguas hasta el nivel del Gran Canal. De 1952 a 1966 se instalaron 29 plantas de bombeo en diversas zonas de la ciudad, lo que implicó un notable incremento en los costos de operación y mantenimiento².

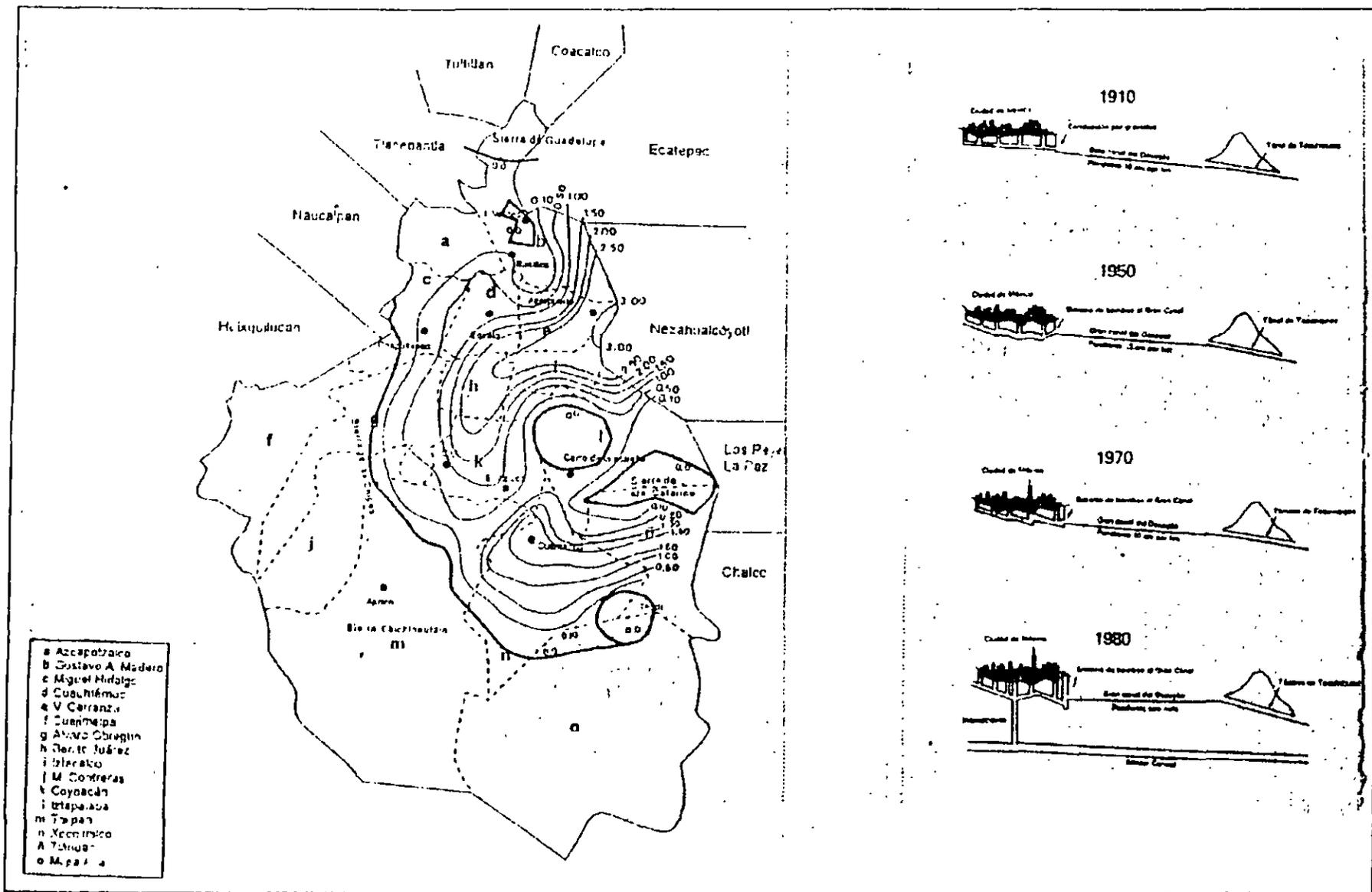
El Gran Canal, que a principios del siglo tenía una pendiente de 19 cm/Km, en la actualidad es prácticamente horizontal.

En 1910, el nivel del lago de Texcoco, que regulaba las aguas del Gran Canal, se encontraba a 1.90 metros por debajo del centro de la ciudad; en 1970, el hundimiento había sido tal que el lago de Texcoco ya se encontraba a 5.50 metros por encima del centro de la ciudad².

El desmesurado crecimiento urbano del Distrito Federal demandaba más superficie para extenderse; esto, aunado a los problemas del hundimiento, volvió insuficientes las capacidades de drenaje del Gran Canal y del Emisor Poniente. Por ello, se hizo necesario construir el drenaje profundo, el cual consiste en instalar conductos a profundidades tales que no sean afectados por los asentamientos del terreno; además de no requerir de sistemas de bombeo, ya que con su solo desnivel transportan el agua en épocas de lluvias y la expulsan por la cuarta salida del Valle de México construida por el hombre.

A continuación se presenta un esquema de la evolución de los hundimientos en la Ciudad de México:

Figura 5 Hundimientos presentados en el suelo de la Ciudad de México²



*Los valores de las curvas están en metros y son representativas período (1983 - 1994).

Hundimiento del Gran Canal durante el período (1910-1980)

El momento actual.

El momento actual, se caracteriza por el inicio de transferencias de aguas al Valle de México desde cuencas lejanas, como lo es el Sistema Cutzamala que entró en operación en el año de 1982, y en un futuro el posible aprovechamiento de las cuencas de los ríos Oriental, Amacuzac y Tecolutla.

Cabe mencionar que el aprovechamiento de las cuencas de los ríos Oriental, Amacuzac y Tecolutla son una posible fuente de abastecimiento y que técnicamente es factible llevarlas a cabo. Sin embargo, la finalidad no debe ser demostrar la capacidad de crear grandes obras de ingeniería con enormes inversiones e ir acabando con el agua de las diferentes regiones del país, sino por el contrario se requiere encontrar la manera de aprovechar al máximo el agua con la que se dispone y en lugar de incrementar la demanda, disminuirla hasta llegar a un punto de equilibrio que permita desarrollar las actividades cotidianas dentro de un marco ambiental.

Ahora, más que antes, las soluciones derivadas del enfoque de ingeniería deben complementarse con otras disciplinas, para lograr un enfoque más amplio y complejo, que considere aspectos de planeación y desarrollo urbano a largo plazo, con el fin de seguir abasteciendo de agua potable y con una mayor eficiencia a la gran ciudad.

1.3.2 Abastecimiento de agua a través de fuentes externas.

El agotamiento y la sobreexplotación de las fuentes de abastecimiento propias de la cuenca del Valle de México debidas al desmesurado crecimiento demográfico, indujo a la búsqueda de nuevas fuentes localizadas fuera del Valle con la finalidad de seguir dotando de agua a la población.

El Sistema Lerma se inició con 4 m³/s y para 1974 llegó a aportar 14 m³/s, explotación que con el transcurso del tiempo ocasionó un severo abatimiento de los acuíferos de los valles de Toluca e Ixtlahuaca⁶, por lo que fue necesario reducir su explotación estabilizándose actualmente en 5.9 m³/s.

A principio de la década de los 70's, en el Valle de México se vio la necesidad de abastecer al Distrito Federal, así como a los 11 municipios del Estado de México que para ese entonces ya se encontraban conurbados a la Capital, mediante fuentes externas diferentes a la del Lerma ya que esta ya presentaba signos de sobreexplotación.

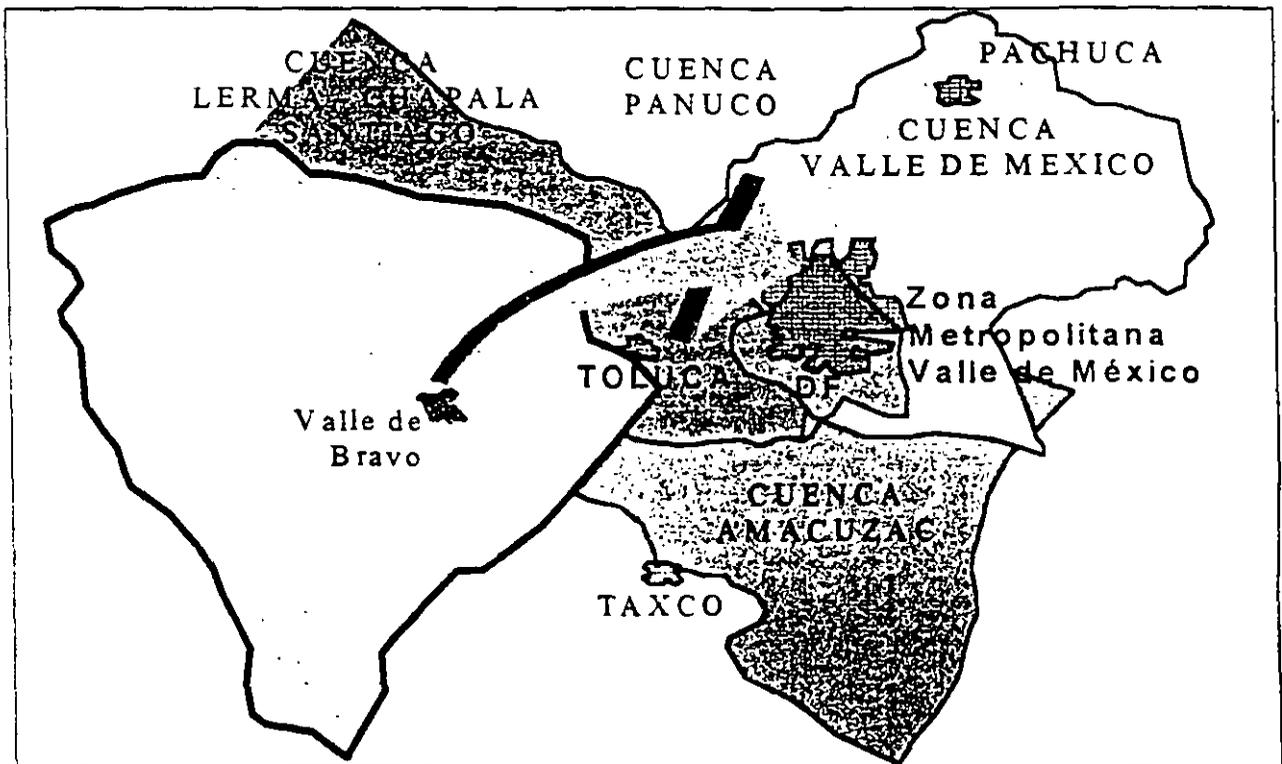
Ante esta situación, en 1972 se constituyó la Comisión de Aguas del Valle de México, con el objeto de programar, proyectar, construir, operar y conservar las obras necesarias para aprovechar los recursos hidráulicos del Valle de México, así como aquellas que fueran necesarias para traer el líquido desde otras cuencas.

⁶ "Sistema Cutzamala" SARH, Folleto CAVM, México, D.F., Diciembre 1987.

A partir de entonces se continuaron con los estudios de abastecimiento de agua potable iniciados por la extinta Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, que incluían diversas alternativas, desde captaciones cercanas al Valle de México, hasta cuencas hidrológicas tan lejanas como la del Río Papaloapan, prevaleciendo en estos análisis el dejar reservas para los usos locales presentes y futuros, analizándose su factibilidad hidrológica, técnica, política, social, económica y financiera. Se correlacionaron caudales disponibles, longitud de recorrido, desniveles respecto a los puntos de captación y entrega, energía para su operación, topografía, calidad del agua, tenencia de la tierra, aspectos tecnológicos, cambio de uso del agua y sus consecuencias⁵.

Las regiones más viables para este abastecimiento con fuentes externas, correspondieron a las cuencas de: Cutzamaia y Temascaltepec al oeste, Tecolutla y Oriental Libres al este, Amacuzac al sur y Tula (Taxhimay) al norte, con caudales de 19, 5, 14.7, 7, 14.2 y 2.8 m³/s respectivamente⁵, con lo que se estimó podrían cubrirse las demandas del vital líquido hasta el año 2000, combinándose con las acciones contenidas en el programa de control de pérdidas y uso eficiente del agua.

Figura 6 Fuentes externas posibles para el abastecimiento de agua a la ZMCM



La utilización del agua de estas cuencas no debe verse desde un punto de vista exclusivo de abastecimiento de agua a la ZMCM, ya que desde su origen y lo largo de la conducción, deben satisfacer en primer lugar las necesidades locales, actuales y futuras.

Se requiere desde luego, el cuidado de las zonas de captación y la preservación de la calidad del agua, efectuando obras que no solo eviten dañar el sistema hidrológico, sino que tiendan a mejorarlo, pero fundamentalmente habrán de tomarse en cuenta los problemas socio - políticos que surjan, motivados por la transferencia y/o cambio del uso del agua, entre habitantes de una misma entidad, o entre diversas entidades federativas y aún entre dependencias que manejan distintos usos del agua, para su adecuada y oportuna solución.

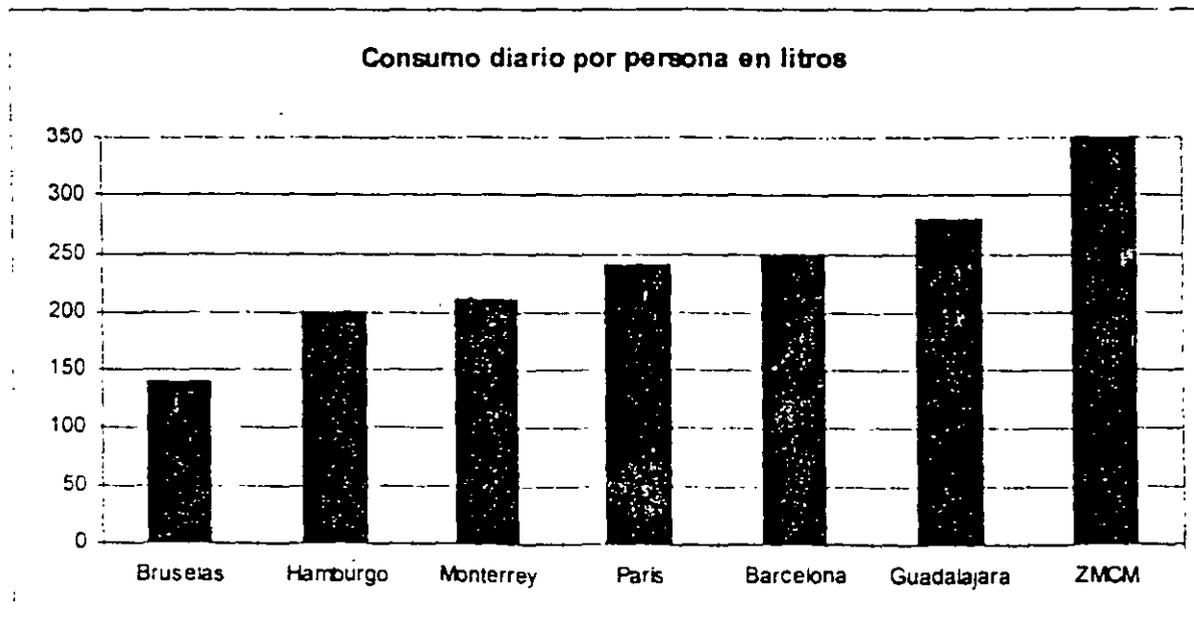
1.4 La planeación de la satisfacción de la demanda.

Tradicionalmente se había planteado resolver el problema de abastecimiento mediante la incorporación de caudales adicionales provenientes de fuentes externas. En la actualidad, este planteamiento no es suficiente y se requiere además incidir de manera directa en la demanda.

La estrategia para atender los requerimientos de la población se basa en el uso eficiente del agua, que tiene como premisa la disminución del consumo sin deterioro del nivel de bienestar y de las actividades productivas de la población, así como de un manejo más eficiente de la infraestructura del sistema de conducción, distribución, comercialización y administración del agua.

El consumo actual en la ZMCM asciende en promedio a 350 lt/hab/día⁷, aunque existen marcadas diferencias entre zonas. Este gasto es excesivo, si se considera que otras ciudades que manejan eficientemente el agua, satisfacen sus necesidades cotidianas con 200 lt/hab/día.

Figura 7 Consumo diario por persona en litros⁷



⁷ "Agua, una nueva estrategia para el Distrito Federal" Comisión de Aguas del D.F., México D.F., Mayo 1994.

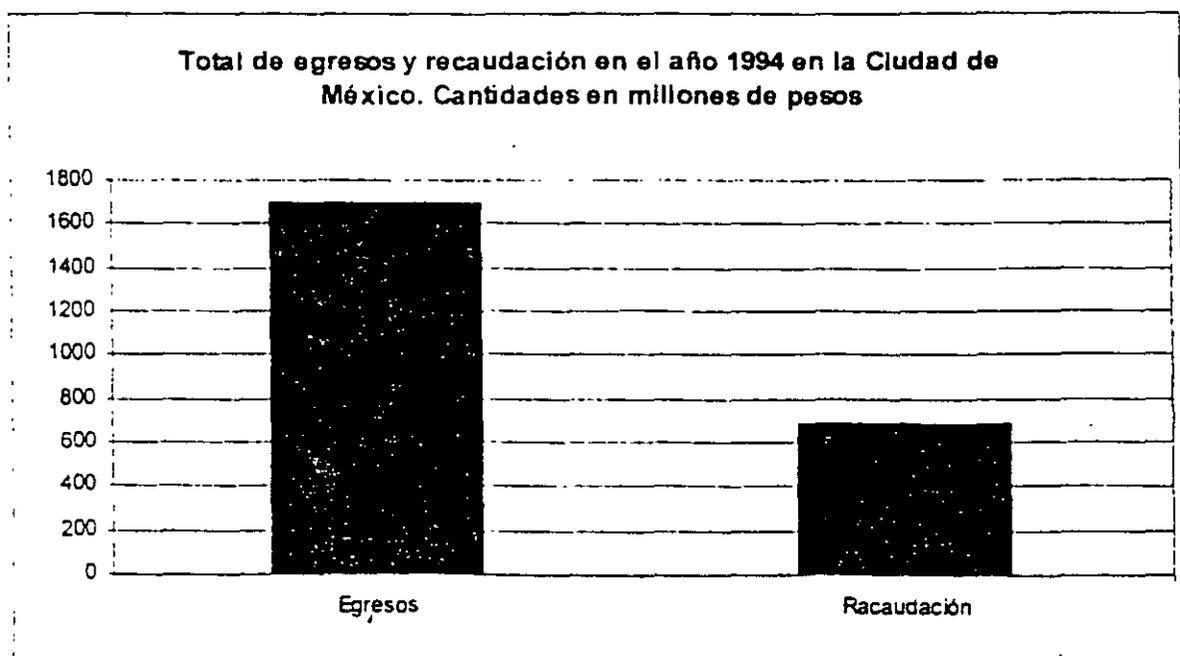
La ZMCM debe consumir menos agua con el fin de evitar el riesgo de agotar definitivamente su fuente principal de abastecimiento, ya que además del acuífero del Valle de Lerma y del Sistema Cutzamala, las posibles fuentes de abastecimiento externas representan elevados costos difícilmente sufragables para el país.

Existen dos razones principales del por qué del elevado consumo de agua en la ZMCM:

1. La red de distribución del Distrito Federal cuenta con 10,700 kilómetros de tuberías y los primeros tramos de la red se instalaron hace más de 100 años. La mayor parte de las tuberías son de asbesto-cemento, material que es vulnerable a los movimientos del subsuelo. Se estima que más del 30% del agua se pierde por fugas antes de llegar a los domicilios⁷.
2. El sistema de cobro del agua, basado mayoritariamente en cuotas fijas independientes de la cantidad que se consume, ha contribuido a que los habitantes de la ciudad no hayamos desarrollado una cultura de conservación y consumo racional del agua.

En el año de 1994, con el fin de asegurar el abastecimiento de agua, una capacidad adecuada de drenaje y el tratamiento de aguas residuales, la ciudad gastó 1,700 millones de pesos⁷ y se estima que esta cifra aumentará considerablemente en los próximos años. Sin embargo, la recaudación correspondió solamente al 40% del gasto efectuado.

Figura 8 Total de egresos y recaudación 1994, Ciudad de México⁷.



Una consecuencia directa de que la ciudad no cuente con los recursos financieros suficientes, es que no puede dar un mantenimiento adecuado a su infraestructura. El mal estado de las redes de distribución ocasiona que el agua se desperdicie antes de llegar a las tomas domiciliarias.

El pago del consumo de agua por metro cúbico es una medida eficaz para que los usuarios del servicio tomen conciencia ya que el abuso del consumo repercute directamente en su economía. Para ello, primeramente es necesario contar con un padrón confiable y completo de los usuarios, así como con medidores precisos en cada toma.

Tabla 1 Tarifas progresivas bimestrales para tomas domésticas en el D.F.⁶

| CONSUMO M3 | | T A R I F A (\$) | |
|-----------------|-----------------|------------------|--|
| Limite inferior | Limite Superior | Cuota Minima | Cuota adicional por m3 excedente del limite inferior |
| 0 00 | 10 00 | 10 00 | 0.00 |
| 10 10 | 20 00 | 10 00 | 1.00 |
| 20 10 | 30 00 | 20 00 | 1.00 |
| 30 10 | 60 00 | 30 00 | 2.40 |
| 60 10 | 90 00 | 102 00 | 4.75 |
| 90 10 | 120 00 | 244 00 | 6 55 |
| 120 10 | 240 00 | 440 00 | 8 35 |
| 240 10 | 420 00 | 1441 00 | 10 10 |
| 420 10 | 660 00 | 3260 00 | 11 90 |
| 660 10 | 960 00 | 6116 00 | 13 70 |
| 960 10 | 1500 00 | 10225 00 | 15 45 |
| 1500 1 | en adelante | 18567 | 17 25 |

* Tarifas vigentes (1997)

| CONSUMO M3 | | T A R I F A (\$) | |
|-----------------|-----------------|------------------|--|
| Limite inferior | Limite Superior | Cuota minima | Cuota adicional por m3 excedente del limite inferior |
| 0 00 | 10 00 | 0 00 | 0 00 |
| 10 10 | 20 00 | 6 05 | 0 55 |
| 20 10 | 30 00 | 12 60 | 0 60 |
| 30 10 | 60 00 | 43 40 | 1 40 |
| 60 10 | 120 00 | 103 70 | 1 70 |
| 120 10 | 240 00 | 278 30 | 2 30 |
| 240 10 | 420 00 | 628 60 | 2 60 |
| 420 10 | 660 00 | 1263 00 | 3 00 |
| 660 10 | 960 00 | 2214 35 | 3 35 |
| Más de 960 | | 3651 00 | 3 80 |

* Tarifas en el año 1994

Haciendo una comparación entre el año de 1994 en el que las tarifas estaban altamente subsidiadas, con el presente año donde se concesionará el servicio a particulares, se presenta a continuación el cálculo del monto a pagar por una familia formada por cinco personas:

Tabla 2 Comparación del costo por consumo de una familia con 5 integrantes.

| Año | Consumo 350 l/hab/día | |
|--------|-----------------------|------------------|
| | Consumo Bimestral m3 | Monto a Pagar \$ |
| 1994 | 105 | 180.2 |
| 1997 | 105 | 342.25 |
| Futuro | Consumo 200 l/hab/día | |
| | Consumo Bimestral m3 | Monto a Pagar \$ |
| | 60 | 102 |

* Cifras calculadas a partir del Código Financiero del D.F.

⁶ *Código Financiero del Distrito Federal. México, D.F., 1997

Como se puede observar en la tabla anterior, si el consumo de una familia continua siendo de 350 lt/hab/día el monto a pagar bimestralmente será el doble del que se pagaba en el año de 1994. Por el contrario, si esta familia le da un uso correcto al agua podrá ahorrar el 70% de su pago bimestral con respecto al que se tendría si su consumo no cambia.

Para lograr que el consumo de agua potable en la ciudad disminuya a niveles que permitan llevar a cabo las labores cotidianas sin detrimento de la calidad de vida de los usuarios, así como revertir los efectos negativos a los que se han sometido las fuentes de abastecimiento se deben realizar las siguientes acciones:

1.- Fuentes de Abastecimiento.

Para mantener los caudales de suministro, se deben llevar a cabo la rehabilitación, reposición y equipamiento de pozos no sólo para mantener, sino para aumentar la capacidad instalada de los pozos que, en caso de fallas del abastecimiento de las fuentes externas, resuelvan las deficiencias de suministro como fuente alterna de emergencia.

Con el fin de reducir los efectos colaterales asociados con la explotación del acuífero del Valle de México, se debe disminuir el caudal de extracción en la medida que las fuentes externas del Valle incorporen caudales adicionales y las acciones del Programa de Uso Eficiente del Agua lo permitan, de tal forma que en 20 años se logre reducir la extracción actual a 23 m³/s gasto de recarga anual por infiltración del agua de lluvia, para mantener el equilibrio al acuífero³, según se establece en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, lo cual es también función de la recarga artificial que se pueda lograr mediante la inyección o infiltración del agua residual tratada a niveles de calidad que permitan recargar el acuífero sin contaminar tanto al agua como al subsuelo.

Por otro lado, aún cuando en el Distrito Federal solo se utiliza agua residual tratada para el riego y algunas labores industriales y comerciales, en el Valle de México todavía se requieren 7.0 m³/s del agua del subsuelo para este fin³, lo que contribuye a la sobreexplotación del acuífero. En el corto plazo se debe eliminar la extracción para este uso y en caso de ser factible, realizar su reemplazo total por agua residual tratada.

2 - Mejoramiento de la operación y distribución.

Se debe continuar con la construcción de redes de distribución, tanques de almacenamiento, rehabilitación y reposición de pozos, que den una mayor cobertura a la ciudad para entregar caudales suficientes que satisfagan las demandas. Asimismo, en la red existente se debe seguir y mejorar su mantenimiento continuo con el fin de reducir las fugas de agua, en las que actualmente se pierden caudales de importancia. Dada la magnitud del sistema, se requiere continuar con el desarrollo de una base geográfica de datos computarizada que permita mantener actualizada la información de la infraestructura.

Referente a la calidad del agua, los muestreos y los análisis que se aplican deben continuar y de ser posible abarcar mayores zonas de muestreo, con el fin de tener mayor información de las fuentes de las que provienen, para poder actuar cuando sea necesario.

3.- Programa de instalación de muebles sanitarios y accesorios de bajo consumo de agua.

Este programa se inició en el Distrito Federal en 1989 y consiste en la sustitución de muebles sanitarios convencionales, que usan en promedio 16 litros por descarga, por muebles de bajo consumo que solamente requieren de 6 litros. Para 1994 se habían sustituido 640 mil muebles, lo que representó un ahorro de 128 millones de litros diariamente. Para el año 2000 se concluirá el programa con la instalación de 2 millones de muebles, con lo que se obtendrá un ahorro de 400 millones de litros diarios ($4.6 \text{ m}^3/\text{s}$).

En el Estado de México el programa abarca la sustitución de 1.7 millones de muebles, con lo que se ahorrarán 340 millones de litros diariamente ($3.9 \text{ m}^3/\text{s}$).

Al concluir este programa, se habrá logrado disminuir el consumo en 740 millones de litros diarios ($8.5 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.- Uso de agua residual tratada.

El uso de agua residual tratada es una medida eficaz para reducir la necesidad de agua potable. Actualmente las 21 plantas de tratamiento que operan en el Distrito Federal producen $6.25 \text{ m}^3/\text{s}$.

El nivel de tratamiento depende del destino de las aguas tratadas, siendo estos destinos principalmente para el uso industrial, comercial, servicios, agricultura y recarga del acuífero.

Por ejemplo, el tratamiento terciario de la planta Cerro de la Estrella permitió llevar a cabo la recarga artificial del acuífero con agua de excelente calidad. Así, durante 1994 se realizó la recarga con $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ a través de lagunas de infiltración, en las estribaciones de la sierra de Santa Catarina.³

Cabe mencionar que para tener un adecuado uso de los caudales provenientes del agua residual tratada, es necesario contar con una red de distribución especial para este servicio, la cual facilite su uso y logre satisfacer las demandas de los usuarios.

5.- Preservación del acuífero.

Continuar llevando a cabo las acciones de expropiación de terrenos, donde sea factible crear zonas verdes para preservar las áreas de recarga en el Distrito Federal, fundamentalmente en Xochimilco, el Ajusco, Cerro de la Estrella y las sierras de Guadalupe y Santa Catarina.³

6.- Fuentes de suministro externas al Valle de México.

En el año de 1994 entró en operación la tercera etapa del Sistema Cutzamala con una aportación de 1.0 m³/s, hasta alcanzar 8.0 m³/s en 1998, en tanto que la cuarta etapa completará el total aportando 5 m³/s. Por lo que respecta al Sistema Lerma, este continuará proporcionando un caudal de 5.9 m³/s a la ZMCM.³

7.- Comercialización y administración

Se está llevando a cabo el proceso de privatización para los servicios de facturación y mantenimiento de las redes de agua potable con lo que se espera mejorar la eficiencia de la red, así como el servicio proporcionado a los usuarios.

8.- Reglamentación.

A partir de marzo de 1990, entró en vigor en el Distrito Federal el reglamento de los servicios de agua potable y drenaje, que aunado a la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, publicada en 1988, permitirán lograr un uso eficiente del agua y preservar la infraestructura hidráulica y los recursos existentes.

9.- Crear conciencia en los usuarios.

La participación de los usuarios es importante en términos del uso eficiente del agua, ya que asumiendo un papel más responsable en la detección y eliminación de fugas interdomiciliarias, además de hacer caso a las recomendaciones para eliminar los consumos de agua innecesarios y minimizar los requeridos, lograrán por una parte preservar su hábitat y mejorar las condiciones ambientales de la ciudad y por otra disminuir el gasto familiar ya que a menor consumo el monto a pagar también será menor.

La difusión en los medios de comunicación masivos, sobre la importancia del buen uso del agua potable y su preservación debe ampliarse y dispersarse para que todos tengan acceso a ella.