

01162



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**"PROSPECTIVA DE LA DEMANDA DE AGUA EN
MÉXICO 2000-2030"**

TESIS

Como requisito para obtener el grado de
Maestra en Ingeniería
(Hidráulica)

Presenta
GABRIELA ESQUIVEL GARDUÑO

DIRECTOR DE TESIS

Dr. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA



MÉXICO, D.F.

Agosto 2005

m. 346701



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Gabriela Esquivel
Garduño

FECHA: 09/Ag/05

FIRMA: [Firma]

La presente Tesis esta basada en el estudio "***Prospectiva de la demanda de agua en México, 2000-2030***", patrocinado y difundido por la **Fundación Gonzalo Río Arronte** y la **Fundación Javier Barros Sierra**. Coordinador del estudio Ing. Jorge Elizondo Alarcón†, Asesor Dr. Ramón Domínguez Mora.

En memoria de
Jorge Elizondo Alarcón

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la **Fundación Gonzalo Río Arronte**, a la **Fundación Javier Barros Sierra** y al **Instituto de Ingeniería**; por las facilidades otorgadas en la realización de esta tesis.

Al Doctor **Ramón Domínguez Mora** por su apoyo, asesoría y valioso tiempo invertido en este estudio.

De manera respetuosa, mi especial agradecimiento al Ingeniero **Jorge Elizondo Alarcón**[†] por la oportunidad que me brindo en participar en este proyecto, por sus enseñanzas y por todo su trabajo que se ve reflejado en esta tesis.

Al Ingeniero **Mario Delgado Wise** y **Ricardo Cruz Quintana** por su colaboración en el estudio "Prospectiva de la demanda de agua en México 2000-2030".

A MIS PADRES por todo su amor y apoyo

Y de manera especial a **RAFAEL** y **SEBASTIÁN**; que son el motor y alegría de mi vida.

INDÍCE

INTRODUCCIÓN

1. DISPONIBILIDAD DEL AGUA	1
1.1. Balance Hidráulico	2
1.2. Precipitación	3
1.3. Escurrimientos y recarga de acuíferos	7
1.3.1. Coeficientes de escurrimiento	11
1.4. Problemática del agua	14
2. DEMANDA DE AGUA	21
2.1. Uso Público-Urbano	24
2.2. Uso Agrícola	27
2.3. Uso industrial	32
2.4. Uso en la generación de energía eléctrica	33
3. ESCENARIOS DE DEMANDA	35
3.1. Proyecciones de Población	38
3.2. Escenarios de demanda de agua 2000-2030	41
3.2.1. Escenarios del producto interno bruto regional	41
3.2.2. Escenarios de demanda municipal urbana	43
3.2.3. Escenarios de demanda industrial	45
3.2.4. Escenarios de demanda agropecuaria	51
3.2.5. Escenarios alternativos	59
4. CONCLUSIONES	64
REFERENCIAS	68
ANEXOS	
Anexo 1. Ramas manufactureras de alto consumo de agua	72
Anexo 2. Estimación del PIB por región administrativa	73
Anexo 3. Sistema de Información SINFA	76

INTRODUCCIÓN

Estimar la demanda futura de agua es imprescindible para prever políticas y acciones que aseguren el abastecimiento del recurso en la cantidad y la calidad suficientes. El crecimiento de la población y el ingreso por habitante son los principales impulsores del aumento de la demanda, que junto con la relativa constancia de los recursos hídricos disponibles en un territorio forman una situación potencialmente conflictiva porque conduce al uso cada vez mayor de la misma cantidad de agua disponible, hasta llegar a límites restrictivos para el desarrollo humano y lesivos a la ecología.

Al inicio de este siglo México enfrenta una situación crítica de abastecimiento de agua. Así lo señalan la escasez en el norte, la sobreexplotación de acuíferos, la dependencia de la importación de cereales, el reducido tratamiento de las descargas municipales e industriales y la falta de control sobre las extracciones no concesionadas. La información histórica apunta al empeoramiento de esta situación (más población, reducida inversión en infraestructura hidráulica) y a la posibilidad de llegar a situaciones más graves si no se toman acciones correctivas.

Por su volumen, la demanda de agua más importante en México es la del sector agropecuario; alrededor de 80% del total. La actividad de este sector está orientada a satisfacer la demanda de alimentos de la población y de insumos del sector secundario. En los últimos 20 años la producción agrícola ha crecido menos rápido que la demanda de alimentos, dando lugar al aumento de las importaciones, principalmente en cereales, forrajes y oleaginosas. Las tendencias señalan que en el futuro la dependencia de la producción extranjera será mayor que la actual y que la balanza comercial agropecuaria se volverá aún más deficitaria. Las causas de esta dependencia de la producción extranjera son varias, aquí interesa señalar tres: de un lado, el rápido aumento de la

población, y del otro, el casi nulo aumento de los rendimientos por hectárea de las tierras de temporal y la disminución de las áreas bajo riego cultivadas con maíz y trigo. El tema tiene relación directa con la demanda futura de agua, pues en el supuesto de que el país se propusiese la meta de no depender de la importación de cereales, se requeriría abrir nuevas tierras dotadas de infraestructura de riego.

Entre 1980 y 2000 la población se volvió más urbana, con mayor cobertura de agua entubada y con mayores ingresos por habitante. Consecuentemente, las necesidades de agua potable casi se duplicaron. La tendencia es usar más agua cuanto más ingreso familiar se tiene y es de esperar que este factor tenga más importancia en la medida que el PIB crezca a tasas superiores a la del promedio anual de 2.65% registrado en estos últimos 20 años. Cerca del 70% del agua total utilizada en el país en los servicios públicos y domésticos se extrae de acuíferos, aunque en las regiones con lluvias más abundantes las corrientes superficiales tienden a aportar la mayor parte del caudal requerido (excepto en Península de Yucatán). Por el hecho de que las aguas superficiales son más vulnerables a la contaminación, es de esperar que en el futuro se prefiera satisfacer las necesidades con agua subterránea en todas las regiones. Ello conducirá a una intensa competencia con los otros usuarios, sobre todo en las regiones en las que los acuíferos ya están sobreexplotados.

La demanda de agua de la industria representa alrededor de 9% del total del agua extraída. Este uso se distingue del agropecuario por el hecho de que los usuarios industriales están sujetos al pago de derechos, cuyas tarifas oscilan entre 1 y 13 pesos por m³, dependiendo de la disponibilidad de agua de la zona en que se localizan. Por tanto, estas empresas tienen la propensión a consumir cada vez menos agua por unidad de producto, a recircularla y a darle tratamiento, porque las descargas contaminadas también son sujetas de pago.

El presente estudio tiene el objeto de estimar la demanda futura de agua a partir de los dos factores fundamentales de su incremento: el aumento de la población y los posibles crecimientos del producto interno bruto, ambos factores resueltos al nivel de las trece regiones en que la Comisión Nacional del Agua ha dividido al país para su manejo. Las regiones hidrológico-administrativas, en adelante Regiones Administrativas, están formadas por la agrupación de regiones hidrológicas conservando municipios completos.

En el capítulo 1 se hace una descripción de las características climáticas e hidrológicas del país y de las regiones administrativas, así como un análisis de la problemática del agua que se presenta en cada región.

En el capítulo 2 se analizan las extracciones de agua para los usos más importantes; agrícola, industrial y público, así como el grado de presión que se ejerce sobre el recurso agua.

En el capítulo 3 se presentan los escenarios tendenciales para el año 2030, de población, producto interno y de demanda de agua por uso, para las regiones administrativas. Así también los escenarios alternativos de demanda de agua, primero si se tuviera una mejora en las eficiencias en riego, agua potable e industrial; y segundo si se incrementara la superficie bajo riego y aumentarían los rendimientos de los cultivos, con la finalidad de disminuir las importaciones.

En el capítulo 4 se anotan las conclusiones del estudio y algunas recomendaciones.

En el anexo 1 se definen las ramas manufactureras de alto consumo de agua, empleadas en los escenarios de demanda industrial. En el anexo 2 se hace la descripción del procedimiento para el cálculo del PIB por región administrativa. Finalmente en el anexo 3 se presenta el contenido del sistema de información SINFA y el CD que contiene la base de datos SINFA y el manual para consultarlo en ARCVIEW o en su defecto en ARCEXPLORER. Se anexa el programa ARCEXPLORER 2.0 junto con su instructivo de instalación y manejo, así como también el archivo Metadatos.doc en donde se hace una descripción detallada de las variables que conforman la base de datos.

CAPÍTULO 1

DISPONIBILIDAD DEL AGUA

Desde el punto de vista global, el agua dulce, de la que depende la vida terrestre, es de un volumen insignificante en relación con toda el agua del planeta. El agua salada de océanos, lagos y mares interiores representa 97.2% y el agua dulce 2.8%. Pero de este porcentaje, más de las tres cuartas partes se encuentra en forma de glaciares y nieves eternas y otra quinta parte es la acumulación de agua subterránea a lo largo de centenas de años, por lo que para fines prácticos es no renovable. Queda para ser usada anualmente por la biota terrestre alrededor de 47,000 km³ de recursos hídricos renovables en el ciclo hidrológico, más el volumen de los lagos de agua dulce. Sin embargo la mayor parte no puede controlarse porque se presenta en forma de grandes avenidas que causan inundaciones desastrosas o no es accesible por encontrarse en regiones remotas (Tabla 1.1).

Como todos los recursos naturales, las precipitaciones pluviales se encuentran mal distribuidas en el mundo. Los extremos son Egipto, en donde el promedio anual de lluvia es de apenas de 51 mm, y Papua-Nueva Guinea con 3200 mm. La mayor parte de los países en que llueve menos de 500 mm al año se localizan en el norte de África, la península arábiga y el centro de Asia. En cambio, en los que las lluvias son más abundantes se localizan entre el ecuador y los 15° de latitud norte o sur.

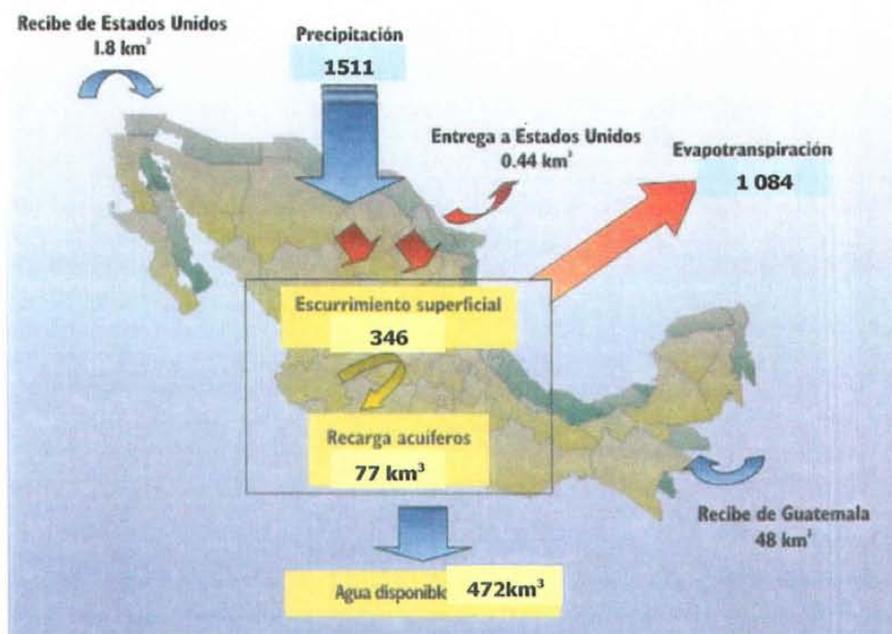
Tabla 1.1. Distribución del agua en la tierra

Categoría	Volumen (km ³)	Fracción del total (%)	Tiempo de renovación
Atmósfera	1.3x10 ⁴	.001	7 a 11 días
Ríos	1.2x10 ³	.0001	7 días
Lagos de agua dulce	1.2x10 ⁶	.009	330 días
Aguas interiores saladas	1.0x10 ⁵	.008	1 a 4 años
Humedad del suelo	6.6x10 ⁴	.005	
Acuíferos	8.2x10 ⁶	.62	60 a 300 años
Glaciares y nieves permanentes	2.9x10 ⁷	2.15	12,000 años
Océanos	1.3x10 ⁹	97.2	300 a 11,000 años

1.1 Balance Hidráulico

De los 771mm de lluvia anual solo se puede disponer del 28%, de los cuales el 23% es escurrimiento superficial y el 5% recarga de acuíferos, el resto representan pérdidas por evapotranspiración, por lo que la disponibilidad natural anual es del 216mm o 423km³. Ver Fig.1.1. Se reciben de cuencas vecinas 1.8km³ en el norte y 48km³ del sur y se entregan 0.44 km³ del río Bravo a Estados Unidos, resultando una disponibilidad natural total de 472km³.

Fig.1.1. Componentes del ciclo hidrológico



Semarnat. Con datos de las Estadísticas del agua en México, 2004

Las extracciones totales son aproximadamente de 72km³, el 15% del agua disponible. El mayor demandante de agua es el agrícola con el 78% de la extracción total.

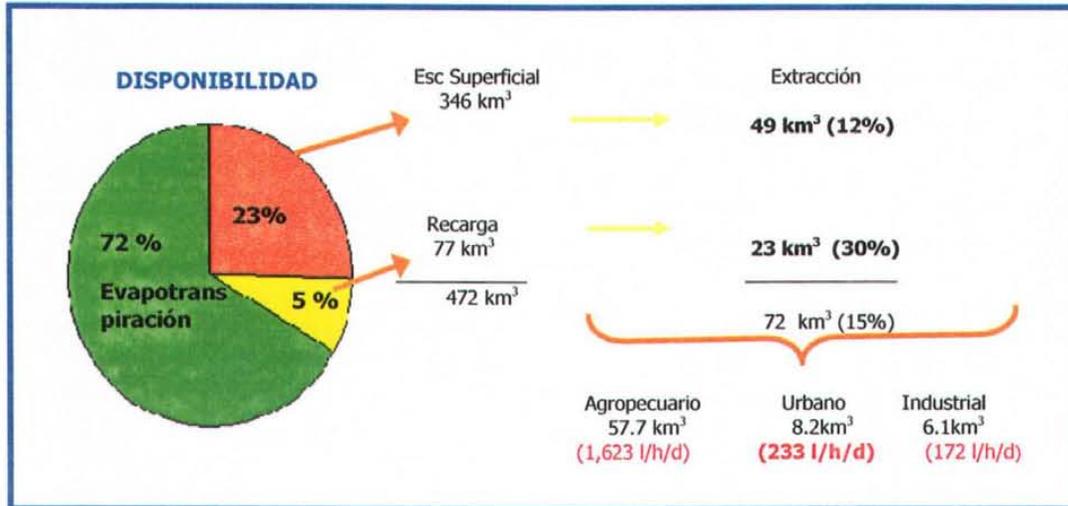


Fig.1.2. Extracciones de agua

1.2 Precipitación

Debido a la barrera que las serranías imponen a los vientos húmedos que llegan de los océanos, la orografía juega un papel muy importante en el patrón de las lluvias en México. Al contacto con la ladera montañosa, los vientos ascienden, saturándose de humedad y condensándose en forma de lluvia que se precipita en el lado barlovento (la cara que da al viento) de la montaña antes de traspasar el obstáculo. Así, los vientos que llegan a la cima y descienden por el lado sotavento tienen poca o nula humedad. Este fenómeno, que es evidente para el observador común, se presenta en todas las cordilleras del mundo cercanas a las costas y es una de las principales causas de la existencia de los desiertos.

Las lluvias del altiplano en el verano y principios del otoño, entre 200 y 500 mm anuales, se deben a que las masas de aire superiores son transportadas desde las llanuras costeras orientales sin encontrar el obstáculo orográfico; cuando llegan al altiplano ascienden por el calentamiento de la tierra liberando su humedad, o divergen hacia el norte por el empuje de los vientos contralisios.

En particular, el norte de México es desértico porque una parte importante de vientos a los que está sometido se originan en la Zona de Alta Presión del Pacífico Norte, que, como se ha dicho, tienen poca humedad por la corriente fría de California y llegan a México por el norte, después de descargar su humedad en el oeste norteamericano; y por otra parte, porque los vientos contralisios, que soplan de sur a norte también son secos. A estos dos vientos se debe el desierto de Sonora. Por su parte, son causas del desierto chihuahuense la deshidratación de los alisios en su ascenso por el lado barlovento de la Sierra Madre Oriental y el barrido de los secos vientos contralisios. Estos últimos explican también la reducida precipitación en el norte de Tamaulipas.

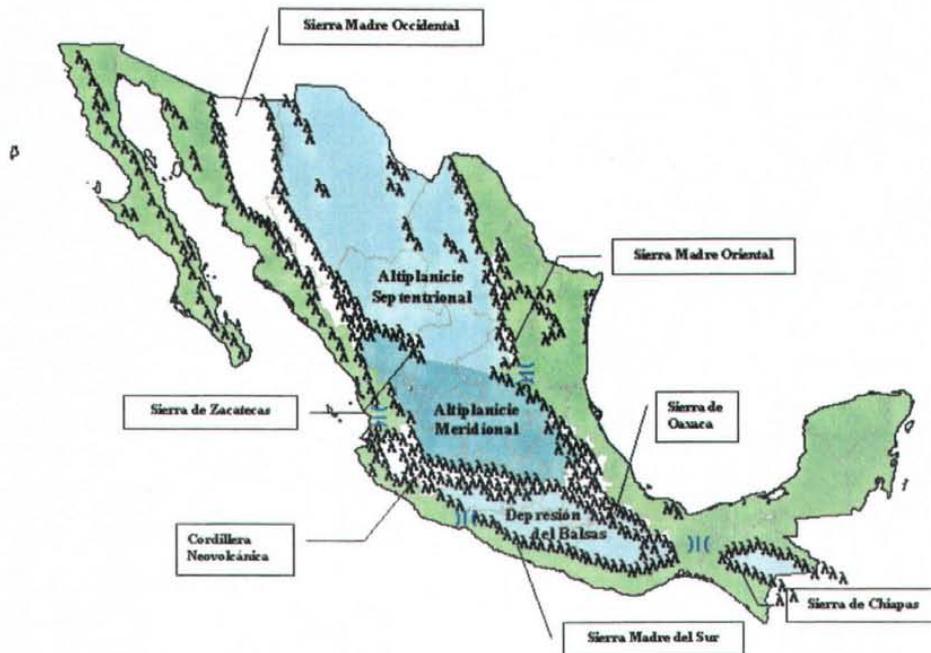


Fig. 1.3. Orografía de México

En la Península de Baja California inciden dos regímenes distintos. De una parte, en invierno la Célula de Alta Presión del Pacífico se desplaza hacia el sur sobre aguas más tibias del Pacífico, de modo que los monzones que soplan en el noroeste de la Península llevan más humedad que en el verano. De otra parte, el sur de la Península está sometido a las perturbaciones ciclónicas de la zona intertropical que en el verano se acercan al Pacífico Norte mexicano.

La precipitación media anual en el país es de 771mm, el 67% se presenta en verano (junio a septiembre), lo que dificulta su aprovechamiento, el resto del año la precipitación es escasa. En las Fig. 1.4 y 1.5 se muestran mapas de la distribución de la lluvia media anual en México, en el que se observan de manera más clara las regiones de escasa precipitación del norte y del Altiplano y las de lluvias abundantes de las costas y el sureste.

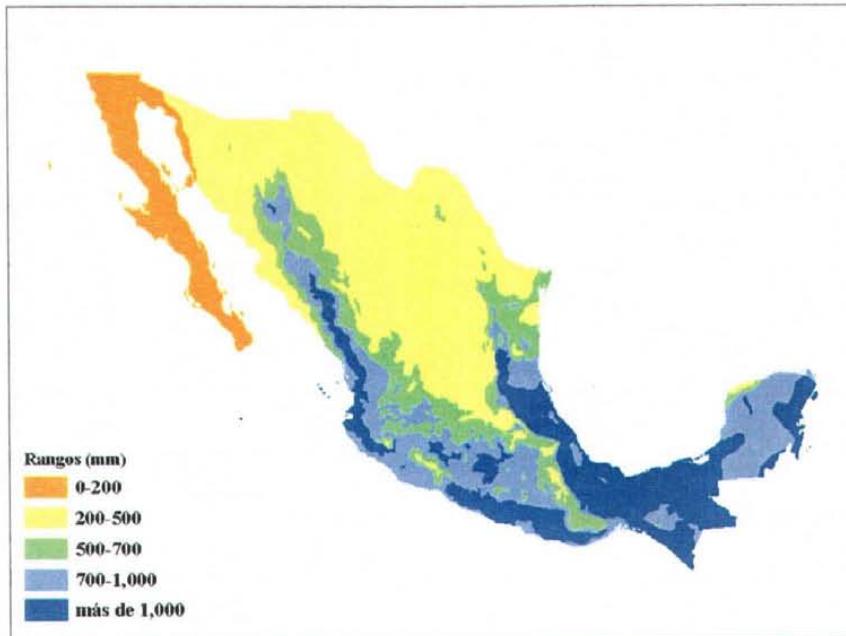


Fig. 1.4. Regionalización de las precipitaciones pluviales

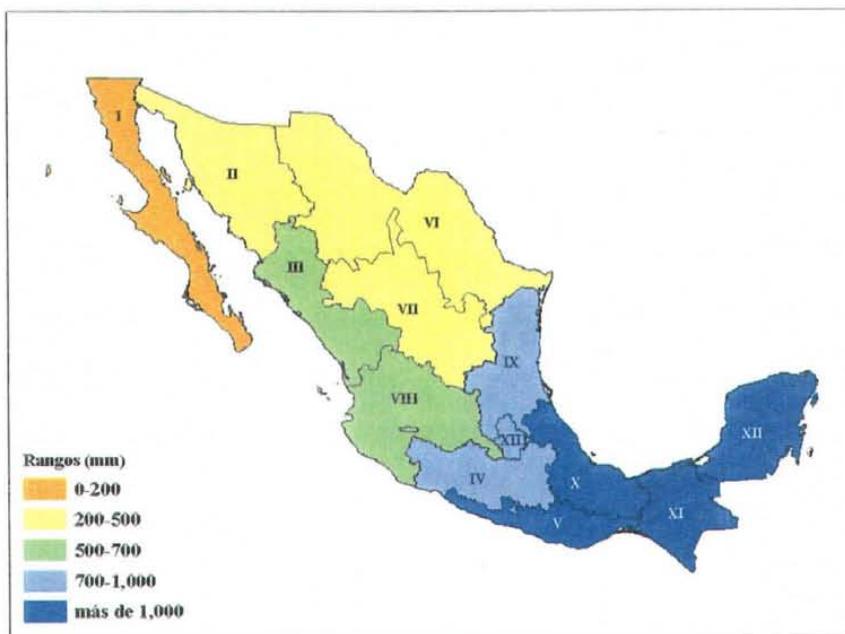


Fig. 1.5. Regiones administrativas de CNA y sus precipitaciones promedio

De los registros históricos de lluvia del banco de datos del ERIC2 (extractor rápido de información climatológica) se obtuvieron las precipitaciones anuales históricas desde el año de 1950 a 1998 de 456 estaciones pluviométricas distribuidas en el país (Fig.1.6), el resultado se observa en la figura 1.7, en donde se puede distinguir las regiones con baja precipitación (100 a 500mm anuales), las de media precipitación (mayores de 500 a 1500mm) y las de precipitaciones altas de mayores a 1500mm anuales.

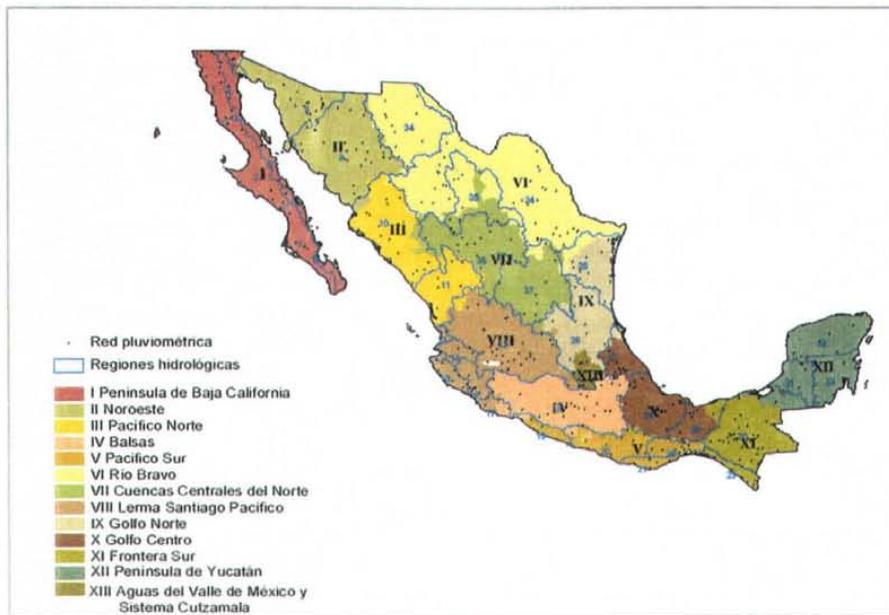


Fig.1.6. Red pluviométrica

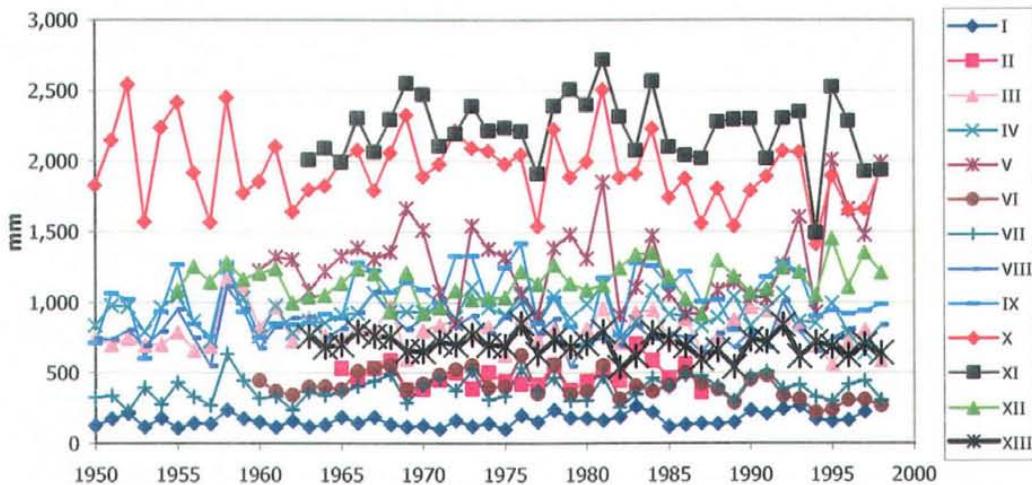


Fig. 1.7. Lluvia histórica anual de las regiones administrativas

En la siguiente tabla se presentan las precipitaciones medias de las regiones administrativas, obtenidas con promedio aritmético y las citadas en las Estadísticas del Agua en México, 2004. CNA, las cuales se obtuvieron con un periodo de registro mayor, 1941-2002, y seguramente con un mayor número de estaciones.

Tabla 1.2. Precipitación media anual por regiones

Región Administrativa		Precipitación Anual, mm (1941-2002) ¹	Precipitación Anual, mm (1950-1998)
I	P de Baja California	198	165
II	Noroeste	462	478
III	Pacífico Norte	765	799
IV	Balsas	965	926
V	Pacífico Sur	1,300	1,225
VI	Río Bravo	408	407
VII	C Centrales del Norte	389	383
VIII	Lerma-Santiago	853	806
IX	Golfo Norte	813	901
X	Golfo Centro	1,902	1,946
XI	Frontera Sur	2,264	2,219
XII	P de Yucatán	1,153	1,148
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	730	696
	Nacional	771	772

1.3 Escurrimientos y recarga de acuíferos

La lluvia que llega al terreno tiene tres destinos: se evapora y regresa a la atmósfera directamente del suelo o a través de la transpiración de la cubierta vegetal; se infiltra al subsuelo saturándolo y formando acuíferos o aflora luego de seguir alguna corriente subterránea; y escurre superficialmente en arroyos y ríos, a través de los que eventualmente regresa al océano o se almacena en lagos y otro tipo de represas naturales o artificiales.

El escurrimiento nacional es aproximadamente de 399 km³ anuales, incluyendo las importaciones de otros países, el 65% del escurrimiento pertenecen a siete ríos: Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago Y Tonalá, cuya superficie representa el 22% del país.¹

¹ Estadísticas del Agua en México. 2004

Tabla 1.3. Cuencas transfronterizas en México

Río	Países	Escurrimiento natural medio Superficial (hm ³)	Área de la cuenca (km ²)
Bravo	México	7,366	226,280
	E.U.A.	502	230,421
Colorado	México	17	3,840
	E.U.A.	17,885	484,350
Tijuana	México	82	3,203
	E.U.A.	92	1,221
Grijalva-Usumacinta	México	71,716	83,553
	Guatemala	43,820	44,837
Suchiate	México	184	203
	Guatemala	2,553	1,084
Coatán	México	354	605
	Guatemala	397	280
Candelaria	México	1,771	13,790
	Guatemala	261	1,558
Hondo	México	533	8,825
	Guatemala	No hay dato	2,873
	Belice	No hay dato	3,010

Estadísticas del Agua en México. 2004

En México se han identificado 653 acuíferos, de los cuales 450 destacan por su extensión y capacidad. La recarga natural promedio es de 77km³ anuales. El agua subterránea se ha convertido en un suministro indispensable ya sea en las zonas áridas, en donde es la principal o única fuente de abastecimiento, o en diferentes ciudades del país que han tenido que recurrir a ella para cubrir sus necesidades. El 69% del agua subterránea extraída se destina a riego agrícola y el 65% del volumen de agua que se suministra a las ciudades proviene del subsuelo, con lo que se abastecen aproximadamente 83 millones de personas.

El volumen de agua disponible para los usos económicos y sociales es la suma del agua que corre superficialmente más la que se recarga y almacena en acuíferos. En la tabla 1.4 se presenta la disponibilidad natural, es decir en la ausencia de obras hidráulicas.

Tabla 1.4. Disponibilidad natural del agua por región administrativa

Región administrativa		Lluvia histórica media (1941-2002)	Escurrimiento natural medio superficial (hm ³)	Recarga media total de acuíferos (hm ³)	Disponibilidad natural total (hm ³)	Disponibilidad natural total per-cápita ² (m ³ /hab)
I	P de Baja California	198	3012 ³	1,411	4,423	1,519
II	Noroeste	462	5,459	2,755	8,214	3,539
III	Pacífico Norte	765	22,160	2,581	24,741	6,459
IV	Balsas	965	24,944	3,965	28,909	2,895
V	Pacífico Sur	1,300	31,468	1,709	33,177	8,447
VI	Río Bravo	408	8,499	5,219	13,718	1,457
VII	C Centrales del Norte	389	4,729	2,107	6,836	1,823
VIII	Lerma-Santiago	853	32,370	7,310	39,680	2,105
IX	Golfo Norte	813	22,070	1,277	23,347	4,976
X	Golfo Centro	1,902	98,930	3,616	102,546	11,242
XI	Frontera Sur	2,264	139,578 ⁴	18,421	157,999	26,992
XII	P de Yucatán	1,153	3,747	25,316	29,063	9,039
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	730	1,996 ⁵	1,807	3,803	194
	Nacional	771	398,962	77,494	476,456	4,888

Estadísticas del Agua en México, 2004. CNA

En el sureste se alberga el 70% de la disponibilidad natural, las disponibilidades más bajas se encuentran en las regiones del norte, noroeste y centro del país, en donde se asienta el 77% de la población y se genera el 85% del PIB.

Según un indicador que se utiliza a nivel mundial, las regiones y países se clasifican de acuerdo con su disponibilidad natural per-cápita como:

Tabla 1.5. Clasificación de la disponibilidad natural media de agua

Disponibilidad natural per-cápita (m ³ /hab/año)	Clasificación
Menor a 1,000	Extremadamente baja
1,001 a 2,000	Muy baja
2,001 a 5,000	Baja
5,001 a 10,000	Media
10,001 a 20,000	Alta
Más de 20,000	Muy Alta

Fuente: Shiklomanov, I.A. y Rodda, J.C., 2003.

² Población del 2000

³ Incluye 1,850 hm³ provenientes de Estados Unidos de América, a través del río Colorado

⁴ Incluye aproximadamente 50,000 hm³ provenientes de Guatemala

⁵ Se consideran aguas residuales de la Ciudad de México

1.3.1 Coeficientes de escurrimiento

Se le denomina pérdida a la parte de lluvia que es interceptada por la vegetación, construcciones, retenida por depresiones del terreno en donde se forman charcos, se evapora o se infiltra.

Uno de los criterios para calcular las pérdidas es del coeficiente de escurrimiento, este criterio supone que las pérdidas son proporcionales a la intensidad de la precipitación, por lo que el volumen de escurrimiento es igual al volumen llovido multiplicado por un coeficiente llamado coeficiente de escurrimiento.

$$\nabla_{ED} = C_E \nabla_{LL}$$

$$C_E = \frac{\nabla_{ED}}{\nabla_{LL}}$$

donde

C_E coeficiente de escurrimiento, adimensional

∇_{ED} volumen de escurrimiento directo, en m^3

∇_{LL} volumen de lluvia total, en m^3

Un coeficiente de escurrimiento bajo, nos habla de una capacidad de infiltración del terreno alta como es el caso de la península de Yucatán en donde prácticamente todo lo que llueve se infiltra, o de una zona con precipitaciones escasas y de poca intensidad como en las regiones del Norte (Península de Baja California, Noroeste, Río Bravo) y del Centro (Cuencas Centrales del Norte).

A su vez un coeficiente de escurrimiento muy alto, sureste del país (Pacífico Sur, Frontera Sur), se presenta generalmente en zonas con lluvias frecuentes, de gran intensidad y fuertes pendientes (Golfo Centro) o urbanizadas en donde la capacidad de infiltración es baja, provocando problemas por inundación.

De manera natural el cauce de los ríos conduce los escurrimientos hasta su desembocadura en el mar. Cuando las lluvias son muy abundantes, como en el Golfo y Sureste del país, el cauce no es suficiente para contener el escurrimiento y éste se desborda inundando las planicies que asumen así el papel de ampliación del cauce. Esto puede suceder cada año, o cada dos o tres años, provocando pérdidas materiales y humanas, por lo que las zonas susceptibles de ser inundadas no

son propicias para los asentamientos humanos, aunque tienen un alto valor ecológico. En la tabla 1.6 se presentan los coeficientes de escurrimiento para las trece regiones administrativas.

Tabla 1.6. Coeficientes de escurrimiento

Regiones Administrativas		Áreas (miles km ²)	Lluvia media (mm) 1941-2002	Escurrimiento natural medio superficial (hm ³)	Volumen Precipitado (hm ³)	Coefficiente de escurrimiento
I	Península de Baja California	146.92	198	1,162	29,090	0.040
II	Noroeste	207.66	462	5,459	95,939	0.057
III	Pacífico Norte	147.78	765	22,160	113,053	0.196
IV	Balsas	121.39	965	24,944	117,143	0.213
V	Pacífico Sur	76.50	1,300	31,468	99,449	0.316
VI	Río Bravo	377.32	408	8,499	153,944	0.055
VII	Cuencas Centrales del Norte	202.85	389	4,729	78,908	0.060
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	187.64	853	32,370	160,055	0.202
IX	Golfo Norte	124.32	813	22,070	101,074	0.218
X	Golfo Centro	105.02	1,902	98,930	199,753	0.495
XI	Frontera Sur	103.84	2,264	89,578	235,085	0.381
XII	Península de Yucatán	137.81	1,153	3,747	158,896	0.024
XIII	Valle de México	16.28	730	514	11,882	0.043
Nacional		1,955.33	771	345,630	1,507,559	0.229

Estadísticas del Agua en México, 2004. CNA

Del agua precipitada solo se puede disponer de un pequeño porcentaje, las pérdidas por evapotranspiración absorben la mayor parte de la precipitación. En la tabla 1.7 se muestra qué proporción de las precipitaciones queda disponible en las distintas regiones del país, en donde se ve que en las regiones que menos llueve (ver Fig.1.3), el Noroeste y el Altiplano Septentrional, son también las regiones en las que la evaporación supera 90% de la precipitación y consecuentemente en las que la disponibilidad de los volúmenes llovidos se reduce más. En efecto, en el Noroeste la precipitación es menor a 10 mm mensuales durante 6 a 8 meses, por lo que toda esta lluvia se evapora; y aunque en el resto de los meses llueve más, no pasan de uno o dos meses en los que pueden medirse precipitaciones de entre 70 y 80 mm. Otro ejemplo es la región de Cuencas Centrales del Norte en donde la precipitación es de cerca de 400 mm anuales pero sólo escurre un volumen equivalente a 23 mm; compárense estas cifras con las de la región Lerma-Chapala de 800mm de lluvia y 173 mm de escurrimiento.

Tabla 1.7. Lluvia, escurrimientos, recarga de acuíferos y disponibilidad natural por regiones

Región Administrativa		Precipitación anual, mm	Disponibilidad			% evapo transpirado
			Escurrimiento, mm	Recarga de acuíferos, mm	% de la precipitación	
I	P de Baja California	198	7.9	9.6	8.8	91.2
II	Noroeste	462	26.3	13.3	8.6	91.4
III	Pacífico Norte	765	150.0	17.5	21.9	78.1
IV	Balsas	965	205.5	32.7	24.7	75.3
V	Pacífico Sur	1,300	411.3	22.3	33.4	66.6
VI	Río Bravo	408	22.5	13.8	8.9	91.1
VII	C Centrales del Norte	389	23.3	10.4	8.7	91.3
VIII	Lerma-Santiago	853	172.5	39.0	24.8	75.2
IX	Golfo Norte	813	177.5	10.3	23.1	76.9
X	Golfo Centro	1,902	942.0	34.4	51.3	48.7
XI	Frontera Sur	2,264	862.7	177.4	45.9	54.1
XII	P de Yucatán	1,153	27.2	183.7	18.3	81.7
XIII	Valle de México	730	31.6	111.0	19.5	80.5
	Nacional	771	176.8	39.6	28.1	71.9

En su recorrido hacia el mar, el agua de lluvia se mueve a través de la superficie de la tierra modificando su composición química por la disolución o suspensión de diversos componentes de carácter orgánico e inorgánico del suelo, las rocas y la vegetación. El agua que llega a las planicies y la desembocadura es muy distinta de la que se precipitó en las zonas altas, pues en su transcurso incorpora numerosos elementos, como el sodio, potasio, magnesio, calcio, sulfatos, cloro y bicarbonato, entre los más importantes; materia orgánica producida por la descomposición de plantas y animales; nutrientes como los fosfatos, nitratos, amonio y bióxido de carbono; y minerales como el cobre, vanadio, zinc, boro, flúor, bromo y cobalto. Si bien algunos de estos elementos son tóxicos en concentraciones altas, el agua así enriquecida es esencial para la vida terrestre.

En general, el agua de lluvia que escurre se almacena en represas artificiales para ser utilizada en la temporada de secas. El agua que se infiltra en el terreno se almacena de manera natural y se le extrae mediante bombeo cuando se requiere usarla.

1.4 Problemática del agua

El balance de agua a nivel nacional es positivo, es decir no se tienen problemas de disponibilidad, sin embargo, debido a las condiciones climáticas y orográficas del país, gran parte de los recursos renovables permanecen sin uso en las regiones más húmedas y menos desarrolladas del sur, en tanto que en el norte y noroeste la cantidad de agua extraída es mayor a la disponibilidad, provocando problemas de sobreexplotación de acuíferos, mientras que en otras la abundancia de agua constituye un problema de control afectando a la población y la infraestructura.

Estudios recientes indican pérdidas económicas durante 1980-1998 en promedio de 4,500 millones de pesos anuales, las mayores están asociadas a la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos. Cada año, se presentan en promedio 24 eventos ciclónicos, de estos 2 o 3 penetran en el territorio causando severos daños. Los daños por inundación se acentúan por la presencia de asentamientos humanos en zonas propensas a inundaciones, como los cauces naturales y zonas bajas.⁶

La capacidad de almacenamiento de las presas del país es de 150,000hm³ de agua, tan solo el 38% del escurrimiento superficial anual, en la tabla 1.8 se muestra por región administrativa el 90% de la capacidad de de almacenamiento total del país.

Tabla 1.8. Capacidad de almacenamiento por región administrativa

Región administrativa		Lluvia histórica media (1941-2002)	Escurrimiento natural medio superficial (hm ³)	Capacidad de almacenamiento anual ⁷ (hm ³)
I	P de Baja California	198	3012	220
II	Noroeste	462	5,459	9,300
III	Pacífico Norte	765	22,160	14,095
IV	Balsas	965	24,944	11,093
V	Pacífico Sur	1,300	31,468	1,500
VI	Río Bravo	408	8,499	10,100
VII	C Centrales del Norte	389	4,729	3,113
VIII	Lerma-Santiago	853	32,370	6,363
IX	Golfo Norte	813	22,070	7,100
X	Golfo Centro	1,902	98,930	8,700
XI	Frontera Sur	2,264	139,578	48,000
XII	P de Yucatán	1,153	3,747	No hay dato
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamanala	730	1,996	1,511
	Nacional	771	398,962	134,685

⁶ Propuesta de temas de estudio para los próximos años. Ramón Domínguez Mora. 2004

⁷ El agua en México: retos y avances, 2000; Estadísticas del agua en México, 2004

En México solamente se da tratamiento a 15% de las aguas residuales. En 2000 se descargaron más de 12,000 millones de m³ de agua contaminada en los cuerpos de agua superficiales, por lo que prácticamente el agua de los ríos ha dejado de ser potable. Dependiendo del caudal de los ríos, estas descargas pueden dar lugar a problemas de mayor o menor magnitud como se muestra en la Tabla 1.9. En las regiones en que el volumen de agua no tratada es alto en relación con los escurrimientos naturales la medida del DBO es mayor, como es el caso de las regiones Valle de México, Lerma Santiago, Balsas y las del norte, y es menor en las del Golfo y el sur.

Tabla 1.9. Agua residual no tratada y DBO regionales, 2000

Región		Disponibilidad de agua superficial, millones de m ³	Uso público urbano e industrial, millones de m ³	Volumen aproximado de aguas residuales no tratado, millones de m ³	Porcentaje sin tratamiento de las aguas residuales	Descargas no tratadas entre disponibilidad superficial, %	DBO, promedio 1995-1999, mg/m ³
I	P de Baja California	3,012	421	249	59.1	8.3	10,155
II	Noroeste	5,459	267	182	68.1	3.3	17,259
III	Pacífico Norte	21,933	449	342	76.1	1.6	15,920
IV	Balsas	24,273	1,280	1,145	89.4	4.7	32,387
V	Pacífico Sur	31,468	467	406	86.9	1.3	3,104
VI	Río Bravo	9,204	1,559	1,023	65.6	11.1	18,841
VII	Cuencas Centrales del Norte	4,729	414	365	88.2	7.7	ND
VIII	Lerma-Santiago	32,370	2,839	2,474	87.1	7.6	25,419
IX	Golfo Norte	23,071	889	822	92.5	3.6	2,489
X	Golfo Centro	98,930	2,103	1,727	82.1	1.7	2,891
XI	Frontera Sur	139,004	771	723	93.8	0.5	7,313
XII	P de Yucatán	1,348	464	417	89.9	30.9	5,458
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	1,996	2,497	2,300	92.1	115.2	90,099
Total		396,797	14,420	12,174	84.4	3.1	

El problema de sobreexplotación de los acuíferos del país es cada vez más grave. En 1975 eran 32 los acuíferos sobreexplotados, número que se elevó a 100 en 1999, lo cual ha generado gran impacto ecológico irreversible como agotamiento de manantiales, desaparición de lagos y humedales, reducción de los caudales base de los ríos, eliminación de vegetación nativa y pérdida de ecosistemas. La sobreexplotación ha ocasionado que la calidad del agua de los acuíferos se haya deteriorado, principalmente por intrusión salina y migración de agua fósil de mala calidad inducida por los efectos de bombeo.

La recarga anual de los acuíferos es de 75,000 millones de m³ y las extracciones para todos los usos suman sólo 28,500 millones, lo que aparentemente deja un amplio excedente de posibilidades de explotación. Sin embargo, hay regiones en las que los acuíferos están siendo sobreexplotados con el riesgo de sufrir intrusiones salinas y volverlos irrecuperables, como ya es el caso conocido

del acuífero Costa de Hermosillo. La Tabla 1.10 presenta datos regionales de los 188 acuíferos más importantes del país⁸, cuyos recargas representan 80% del total nacional y las extracciones 61%. En la tabla se muestran las regiones con el porcentaje de superávit o déficit.

Tabla 1.10. Muestra regional de acuíferos. Recarga y explotación

Región	Número de acuíferos	Número de acuíferos sobreexplotados	Millones de m ³					
			Recarga anual	Volumen de extracción comprometido y concesionado*	Volumen de extracción consignado en estudios técnicos**	Superávit (+) o déficit (-) según los volúmenes comprometidos y concesionados	Superávit (+) o déficit (-) según los estudios	
I	P de Baja California	17	14	482	569	633	-88	-151
II	Noroeste	14	11	997	1,270	1,128	-273	-131
III	Pacífico Norte	13	7	2,377	2,139	888	238	1,489
IV	Balsas	14	3	2,298	1,879	1,318	419	980
V	Pacífico Sur	3	1	302	172	96	131	207
VI	Río Bravo	26	18	1,895	2,689	1,606	-793	289
VII	C Centrales del Norte	15	13	1,177	1,803	1,845	-626	-667
VIII	Lerma-Santiago	39	24	4,402	5,057	5,128	-655	-726
IX	Golfo Norte	10	6	848	887	734	-39	115
X	Golfo Centro	9	0	2,704	1,652	244	1,052	2,460
XI	Frontera Sur	14	0	16,167	7,594	516	8,574	15,651
XII	P de Yucatán	4	0	25,316	18,813	1,448	6,503	23,868
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	10	5	1,773	2,693	1,881	-920	-108
	Total	188	102	60,738	47,214	17,464	13,524	43,274

* Las descargas naturales de los acuíferos se refieren a volúmenes cuyo uso está previsto como agua superficial. El concesionado es el volumen cuyo derecho de extracción fue otorgado a los usuarios.

** El volumen consignado en estudios se refiere a estimaciones basadas en mediciones y muestreos.

En la información por regiones se compensan el superávit y el déficit de los acuíferos, por lo que se encubre la situación real de los que están siendo sobreexplotados. Hay alrededor de 43 acuíferos en los que los volúmenes de extracción concesionados representan 150% o más de los volúmenes de recarga. En el norte (regiones I, II, III, VI y VII) se encuentran 25 de esta clase de acuíferos y 13 en el centro (regiones VIII y XIII).

En la siguiente tabla se muestran 15 de los acuíferos con mayor recarga anual y cuyo déficit es superior a 25% de la recarga.

La sobreexplotación de acuíferos se observa en las regiones donde hay más presión sobre los recursos hídricos. El minado (extracciones mayores a la recarga) de los acuíferos no causa daños cuando se hace por pocos años y en los subsiguientes se permite su recuperación poniendo límites

⁸ Diario Oficial del 31 de enero de 2003.

a las extracciones. Pero cuando el minado se vuelve una práctica permanente entonces los daños causados pueden tener un carácter irreversible o volver los acuíferos inútiles por muchos años.

Tabla 1.11. Acuíferos grandes sobreexplotados

Millones de m³ anuales

Acuífero	Región	Recarga	Extracciones concesionadas y laterales	Extracciones/ recarga
COSTA DE HERMOSILLO	II	250	431	1.72
VALLE DEL MAYO	III	155	213	1.38
VALLE DEL GUADIANA	III	117	152	1.30
ASCENSIÓN	VI	132	393	2.97
CUAUHTÉMOC	VI	115	293	2.54
CITRÍCOLA NORTE	VI	192	282	1.47
PRINCIPAL-REGIÓN LAGUNERA	VII	519	702	1.35
VALLE DE LEÓN	VIII	156	285	1.83
VALLE DE AGUASCALIENTES	VIII	235	359	1.53
RÍO TURBIO	VIII	110	163	1.48
IRAPUATO-VALLE	VIII	522	752	1.44
PÉNJAMO ABASOLO	VIII	225	317	1.41
CUENCA ALTA DEL RÍO LAJA	VIII	140	185	1.32
VALLE DE CELAYA	VIII	287	361	1.26
ZMCM	XIII	279	1,249	4.48

Debido a que se ha abatido el nivel de aguas subterráneas se ha incrementado el costo de extracción, lo que encarece la producción en los cultivos de los distritos de riego. El desarrollo de las regiones afectadas por la sobreexplotación de los acuíferos es limitado y se agrava aún más por las condiciones climáticas extremas que se han presentado en los últimos años, que incluyen sequías más severas y prolongadas, las cuales tienen un impacto negativo sobre la disponibilidad de agua superficial y la renovación de los acuíferos.⁷

En el Programa Nacional Hidráulico (2001-2006) se mencionan los problemas más importantes para cada región administrativa, los cuales se resumen tabla 1.12.

Tabla 1.12. Problemática del agua

PROBLEMA	CAUSA	REGIÓN ADMINISTRATIVA												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Escasez de agua	Demanda mayor a la disponibilidad	X	X		X		X	X	X					X
Contaminación de acuíferos	1) Sobreexplotación de acuíferos	X	X	X	X		X	X	X	X			X	X
	2) Recarga de aguas residuales				X			X					X	X
	3) Contaminantes naturales (arsénico)			X				X						
Contaminación de cuerpos de agua	1) Deficiente o nulo tratamiento de aguas residuales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
	2) Escasez de plantas de tratamiento			X		X		X	X	X	X	X		
Baja eficiencia en Distritos de Riego	1) Baja eficiencia global en los distritos de riego	X	X		X	X	X		X	X	X	X		X
Abandono de tierras	1) Insuficiencia de créditos				X	X				X				X
	2) Falta de maquinaria y equipo especializado				X	X				X				X
	3) Bajos ingresos derivados de la producción				X	X				X				
	4) Deficiente organización de usuarios				X	X				X				X
	5) Problemas de tenencia de la tierra				X									
	6) Salinización de las tierras		X											
Sistemas de agua potable	1) Agua no contabilizada	X		X			X		X					
	2) Bajas coberturas en el suministro de agua potable	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	
	3) Pérdidas		X						X					
	4) Mala sectorización		X							X				
	5) Administración deficiente		X						X	X				
	6) Deficiencia en la calidad del servicio							X	X				X	X
Sistemas de alcantarillado	1) Bajas coberturas de alcantarillado	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	
	2) Falta de mantenimiento		X											
	3) Administración deficiente		X						X		X			
	4) Deficiencia en la calidad del servicio							X	X					X
Daños por inundación	1) Ubicación geográfica		X	X	X	X				X	X	X	X	
	2) Ordenamiento territorial inadecuado			X	X	X					X	X		X
	3) Poca capacidad de control			X							X	X		X
	4) Insuficiencia de obras de control			X					X		X	X		X
	5) Monitoreo deficiente			X		X								X
	6) Insuficiencia de programas de prevención y alerta			X		X								X
	7) Falta de mantenimiento en cauces y obras de control													X
Daños por sequías		X						X		X				

El problema de escasez de agua se presenta en las regiones del norte y centro del país, debido a que la demanda ya sobrepasó la disponibilidad de la misma, ocasionando competencia por el agua entre los diferentes usos, principalmente entre el uso agrícola y el público.

La agricultura de riego utiliza el 77% del agua extraída en el país, los métodos aplicados son tradicionales en más del 80% de la superficie y la eficiencia se estima en 46%. Las regiones del Sur presentan abandono de tierras debido a la falta de créditos y maquinaria.

Existe un serio problema en contaminación de acuíferos debido a la sobreexplotación de los mismos mayormente por el uso agrícola en las regiones del norte y centro del país.

La contaminación en los cuerpos de agua se debe principalmente a las descargas de aguas residuales no tratadas en la industria y uso público. En la mayor parte del país aún se cuenta con una baja cobertura en el suministro agua potable y alcantarillado. Los índices de eficiencia en el uso del agua potable, con un alto valor agregado, son también bajos (del orden del 50%).

Los retos tecnológicos de nuestro país para lograr un manejo adecuado del agua, se pueden agrupar en cuatro áreas:

- ◇ Disponibilidad de suficiente agua
- ◇ Calidad del agua
- ◇ Prevención de desastres de origen hidrometeorológico
- ◇ Producción hidroeléctrica

Es factible aumentar la disponibilidad de agua, algunas alternativas para ello son: incrementar la capacidad de almacenamiento y de conducción, eficientar el riego, ello implica cambiar las prácticas tradicionales de riego, aumentar la eficiencia en las redes de distribución de agua potable, importar agua de cuencas vecinas, aumentar el reuso del agua y desalinizar agua de mar.

COMENTARIOS

CAPÍTULO 2

DEMANDA DE AGUA

Los principales sectores demandantes de agua dulce son, por la importancia de los volúmenes que emplean, la agricultura, los servicios municipales y domésticos y la industria. Un cuarto sector que también demanda agua para sobrevivir, aunque generalmente no es considerado en las estadísticas del agua, son los sistemas ecológicos formados por la flora y la fauna silvestres. En la medida que aumentan la población y las actividades productivas, la competencia por el agua se agudiza, especialmente en las regiones cuya disponibilidad no es abundante. Por otra parte, por el solo hecho de usar el agua se reduce su calidad, pues las actividades en que se le emplea la contaminan por la adición de elementos tóxicos, de modo que si no es tratada adecuadamente después de ser usada la calidad disminuye hasta el punto que el empleo posterior sea indeseable para el consumo humano y otros posibles usos. Una excepción relativa son las centrales hidroeléctricas porque turbinar el agua no transforma sus características bioquímicas, aunque por el hecho de almacenarla en los embalses reduce su calidad por desoxigenación y precipitación en el vaso de nutrientes y minerales deseables para la agricultura y los hábitats silvestres que dependen de ellos aguas abajo.

El porcentaje del agua extraída para los tres usos mencionados entre la disponibilidad natural manifiesta el grado de presión que se impone sobre los recursos hídricos. Se considera que la presión es escasa si el grado de presión es menor a 10% y que es fuerte si es mayor a 40%. En México este porcentaje es del 15% en 2002 lo que significa una presión moderada; sin embargo, en el norte del país es mayor a 40% (Tabla 2.1 y 2.2). Los países que mayor presión tienen son aquellos con precipitaciones muy reducidas, como todos los de la Península Arábiga en donde el porcentaje de extracción total, con respecto a la disponibilidad, es superior a 100%, varios del

norte de África y de Asia Central, cuyas extracciones oscilan entre 32 y 80%. En Europa, Bélgica y Bulgaria también extraen más de 40%, y España y Alemania extraen más de 30%⁹. En el Continente Americano, Estados Unidos y México son los países con la presión más alta. Ver Fig.2.2.

Tabla 2.1. Disponibilidad y extracciones, por región

Región		Disponibilidad natural, hm ³ /año	Extracciones totales, hm ³ /año	Grado de presión sobre los recursos hídricos, %
I	P de Baja California	4,423	3,836	87
II	Noroeste	8,214	6,028	73
III	Pacífico Norte	24,741	9,224	37
IV	Balsas	28,909	7,730	27
V	Pacífico Sur	33,177	1,557	5
VI	Río Bravo	13,718	8,010	58
VII	C Centrales del Norte	6,836	4,172	61
VIII	Lerma-Santiago	39,680	14,514	37
IX	Golfo Norte	23,347	5,217	22
X	Golfo Centro	102,546	3,946	4
XI	Frontera Sur	157,999	1,841	1
XII	P de Yucatán	26,063	1,307	4
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	3,803	4,801	126
Nacional		476,456	72,183	15

Grado de presión = (Extracción total / Disponibilidad)*100

Tabla 2.2. Grado de presión sobre sus recursos hídricos

Región administrativa	Escorrentamiento natural medio superficial (hm ³)	Recarga media total de acuíferos (hm ³)	Extracciones esc. superficial hm ³ /año	Extracciones recarga hm ³ /año	Grado de presión sobre esc. Superficial %	Grado de presión sobre acuíferos %
I	3,012	1,411	2,185	1,651	72.5	117.0
II	5,459	2,755	3,516	2,512	64.4	91.2
III	22,160	2,581	7,977	1,247	36.0	48.3
IV	24,944	3,965	5,233	2,497	21.0	63.0
V	31,468	1,709	1,165	392	3.7	22.9
VI	8,499	5,219	4,303	3,707	50.6	71.0
VII	4,729	2,107	1,309	2,863	27.7	135.9
VIII	32,370	7,310	7,459	7,055	23.0	96.5
IX	22,070	1,277	4,128	1,089	18.7	85.3
X	98,930	3,616	2,665	1,281	2.7	35.4
XI	139,578	18,421	1,162	679	0.8	3.7
XII	3,747	25,316	147	1,160	3.9	4.6
XIII	1,996	1,807	2,416	2,385	121.0	132.0
Nacional	398,962	77,494	43,665	28,518	10.9	36.8

⁹ FAO, *Aquastat*

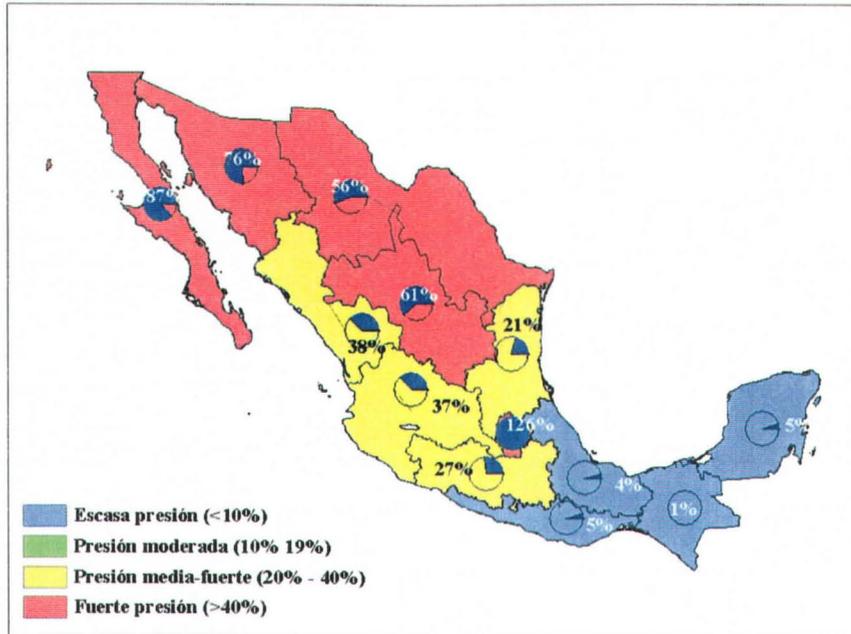


Fig. 2.1. Grado de presión sobre los recursos hídricos

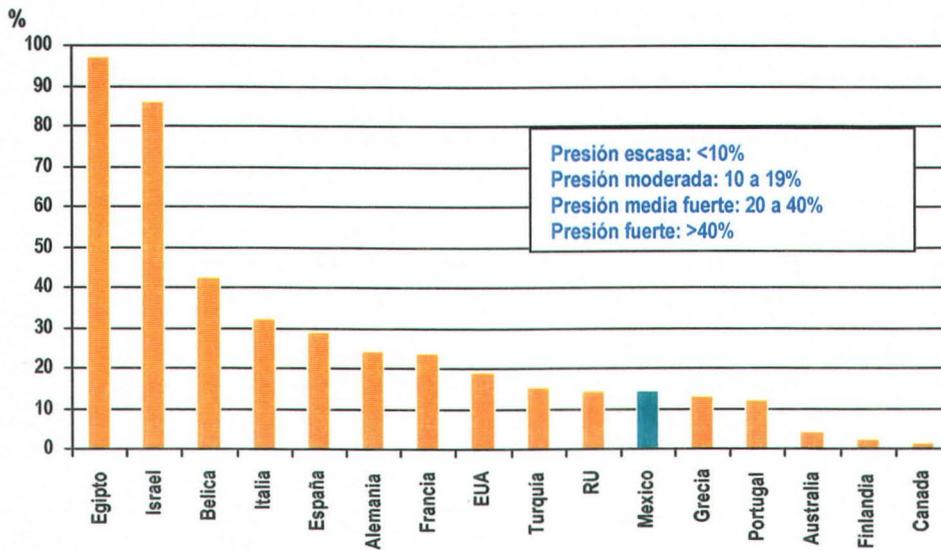


Fig 2.2. Muestra de países. Presión sobre la disponibilidad de agua

2.1 Uso público-urbano

Debido a las altas tasas de natalidad, en los 30 años transcurridos entre 1970 y 2000 la población del país se duplicó aumentando 49.3 millones, cantidad equivalente a 1.2 veces la población actual de España y 1.6 veces la de Canadá. Del aumento total, 29 millones fueron absorbidos en las regiones Valle de México, Lerma-Santiago, Río Bravo y Balsas; el resto, 19 millones, se repartió entre las otras nueve regiones (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Población 1970 y 2000 por Región Administrativa

Millones

Región		Total		Urbana		Rural	
		1970	2000	1970	2000	1970	2000
I	P de Baja California	1.0	2.9	0.8	2.6	0.2	0.3
II	Noroeste	1.2	2.3	0.8	1.9	0.4	0.4
III	Pacífico Norte	2.1	3.8	1.0	2.4	1.2	1.4
IV	Balsas	5.0	10.0	2.3	6.8	2.7	3.2
V	Pacífico Sur	2.0	3.9	0.7	2.2	1.3	1.7
VI	Río Bravo	4.4	9.4	3.4	8.7	1.0	0.7
VII	C Centrales del Norte	2.2	3.8	1.0	2.6	1.2	1.2
VIII	Lerma-Santiago	9.3	18.9	5.4	14.2	3.9	4.7
IX	Golfo Norte	2.8	4.7	0.9	2.2	1.9	2.5
X	Golfo Centro	5.0	9.1	2.0	5.0	3.0	4.2
XI	Frontera Sur	2.4	5.9	0.7	2.8	1.7	3.0
XII	P de Yucatán	1.1	3.2	0.7	2.6	0.4	0.7
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	9.9	19.6	8.7	18.8	1.1	0.8
	Total	48.2	97.5	28.3	72.8	19.9	24.7

En esos mismos 30 años, la población urbana pasó de 59% a 75%, pero la rural, que disminuyó en términos relativos, también aumentó en población absoluta: en 2000 la población rural fue de 24.7 millones, cerca de 4.8 millones más que en 1970. Las regiones Lerma-Santiago, Golfo Norte, Golfo Centro y Frontera Sur fueron las que más aumentaron la población rural y, por otra parte, son las regiones que concentran 54% de la tierra agrícola de temporal (ver Tabla 2.6).

En 2000 cerca de 15% de las viviendas no tenía agua entubada y 23% no estaba conectada a redes de drenaje. Estas carencias se agudizan en las poblaciones rurales, cuyos porcentajes sin agua y drenaje son 34 y 67 respectivamente.

El consumo de agua potable por habitante en el país difiere según las regiones y el tamaño de las localidades. El promedio nacional del agua extraída para fines públicos y domésticos fue de 237 lhd (litros por habitante por día) en 1999, mientras que para las capitales de los estados fue de 335 y para el resto de 209. Estas cifras corresponden al agua entregada a las redes de distribución, sin

considerar las pérdidas en ellas que, dependiendo de sus condiciones de mantenimiento, pueden representar un porcentaje significativo (por ejemplo, en el Distrito Federal se estima en 37%).

Cerca del 70% del agua total utilizada en el país en los servicios públicos y domésticos se extrae de acuíferos, aunque en las regiones con lluvias más abundantes las corrientes superficiales tienden a aportar la mayor parte del caudal requerido (excepto en Península de Yucatán). Por el hecho de que las aguas superficiales son más vulnerables a la contaminación, es posible que en el futuro se prefiera satisfacer las necesidades con agua subterránea en todas las regiones. Ello conducirá a una intensa competencia con los otros usuarios, sobre todo en las regiones en las que los acuíferos están sobrexplotados en la actualidad.

El promedio nacional del cociente agua facturada¹⁰ entre agua suministrada¹¹ en 1999 fue 78% y es un indicador de la eficiencia global de los sistemas de distribución de agua potable. En la Tabla 2.4 se muestran los valores estatales de la producción de agua y en la tabla 2.5 el indicador de eficiencia, tomando en consideración el estándar internacional es de 75% pueden deducirse las posibilidades de ahorro de agua en cada entidad.

¹⁰ Agua facturada es el total de agua potable consumida y medida. El agua medida incluye la registrada en los medidores y la facturada de las tomas que no tienen medidor (cuota fija). La no facturada son consumos no detectados y/o pérdidas en las redes primaria y secundaria.

¹¹ Agua suministrada es la cantidad de agua potable medida que proviene de la red primaria y que fluye en la red secundaria o de distribución, la cual se conecta directamente a la toma de los usuarios

Tabla 2.4. Indicador de eficiencia de la distribución del agua potable

Entidad Federativa	Producción De Agua		
	Producida	Suministrada	Facturada
	Miles de m ³		
Aguascalientes	115,521	53,480	43,775
Baja California	223,595	161,844	161,844
Baja California Sur	55,991	41,305	32,792
Campeche	61,887	50,796	40,099
Coahuila	264,121	223,616	138,714
Colima	84,514	81,397	50,375
Chiapas	218,698	152,353	104,061
Chihuahua	368,183	266,914	249,868
D.F.	1,072,783	705,891	495,825
Durango	121,940	79,937	72,011
Guanajuato	285,525	209,593	188,255
Guerrero	163,806	147,029	85,195
Hidalgo	163,874	136,272	93,211
Jalisco	678,559	607,347	495,096
México	962,983	718,738	575,553
Michoacán	384,872	266,482	221,603
Morelos	95,902	93,183	80,723
Nayarit	82,892	70,989	70,851
Nuevo León	312,877	312,872	241,907
Oaxaca	173,937	154,266	120,256
Puebla	250,691	171,768	150,329
Queretaro	137,781	70,922	59,321
Quintana Roo	101,213	80,754	52,641
San Luis Potosí	158,261	94,513	84,362
Sinaloa	262,910	228,782	155,413
Sonora	371,090	262,012	203,196
Tabasco	193,963	188,755	101,326
Tamaulipas	342,588	219,156	183,034
Tlaxcala	65,326	60,387	54,101
Veracruz	423,362	357,961	255,732
Yucatán	156,927	122,896	93,641
Zacatecas	77,329	55,917	50,240
Nacional	8,433,901	6,448,127	5,005,350

Fuente: INEGI, I censo de captación, tratamiento y suministro de agua, 1999

Tabla 2.5. Indicador de eficiencia de la distribución del agua potable

Estado	Agua facturada/ agua suministrada
Ags, BC, BCS, Camp, Chih, Dgo, Gto, Jal, Mex, Mich, Nay, Mor, Tlax, NL, Oax, Pue, Qro, SLP, Son, Tam, Yuc, Zac	F/S > 0.75
QR, Sin, Chis, Hgo, D.F., Ver	0.65 < F/S < 0.75
Col, Coah, Gro	0.55 < F/S < 0.65
Tab	F/S < 0.55

Fuente: INEGI, I censo de captación, tratamiento y suministro de agua, 1999

2.2 Uso agrícola

De las extracciones totales en 2000, el sector agrícola y pecuario utilizó 80%. Este porcentaje tan alto obedece a que el riego es imprescindible en el norte y centro norte del país, regiones en donde llueve menos y se concentra la mayor parte de la superficie agrícola irrigada (Fig. 2.3, Tabla 2.6).

Tabla 2.6. Superficie cosechada, 2000

Regiones	Superficie cosechada de riego, ha	Superficie cosechada de temporal ha
I	253,320	23,320
II, VI, VII	1,380,658	1,677,895
III, VIII	1,929,815	3,028,730
IV, IX, XIII	802,434	3,275,896
V, X, XI, XII	313,494	6,048,489
Nacional	4,679,720	14,054,330

Fuente: SAGAR, *Siacon 2002*

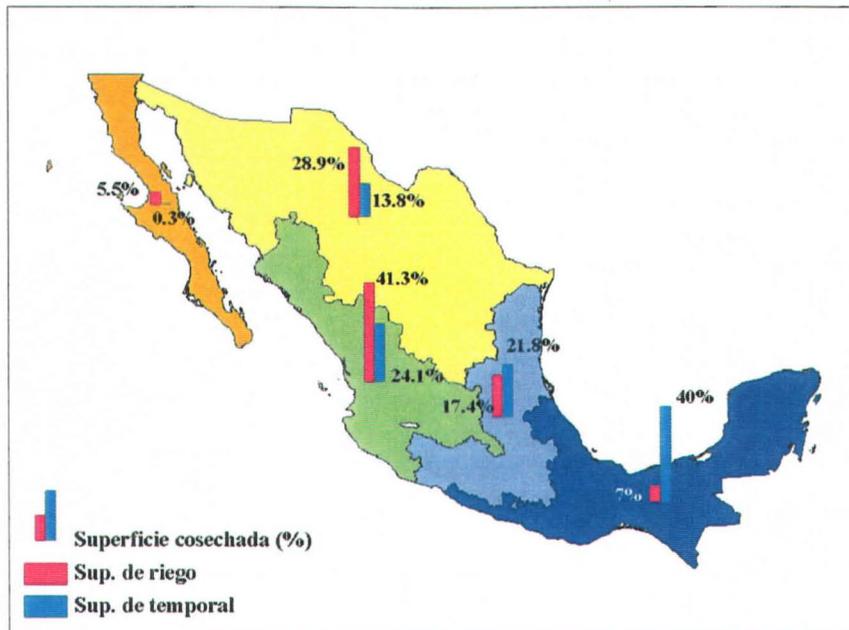


Fig. 2.3. Superficie cosechada, 2000

Actualmente la mitad de la superficie cosechada regada en el país forma parte de distritos de riego, que son organizaciones cuyas estructuras hidroagrícolas fueron construidas con inversiones públicas, y aunque su operación ha sido ya transferida a los usuarios, su desarrollo sigue recibiendo atención y servicios del gobierno. De la otra mitad de la tierra agrícola regada se tiene menos información sobre su organización y relaciones técnicas de trabajo, pero puede deducirse que son menos eficientes en el uso del recurso hídrico. El total de la superficie regada requiere, en promedio, una lámina de 120 centímetros de agua: 103 cm en los distritos de riego y 138 cm en el resto.

Dos tercios del agua de riego se obtienen de fuentes superficiales y el otro tercio de acuíferos mediante bombeo (Tabla 2.7). En las cinco regiones en que es más alto el grado de presión sobre los recursos hídricos (I, II, VI, VII y VIII) se extrae 72% del agua subterránea utilizada para agricultura, mientras que en las cinco regiones (III, IV, VI, VIII y IX) cuya precipitación oscila entre 500 y 1000 mm anuales se extrae 66% del total de las aguas superficiales. Estas cifras están relacionadas con la eficiencia global del uso del agua, pues la eficiencia es menor en las regiones en que es mayor la distancia que el agua recorre en los canales hasta llegar a las parcelas. En los distritos de riego de Península de Yucatán se observa la máxima eficiencia regional, de 46%, debido a que casi toda el agua de riego es subterránea, y en la Pacífico Sur, en donde casi toda la extracción es de fuentes superficiales, se tiene la mínima de 20.3%¹².

Tabla 2.7. Extracciones para riego, 2002

Región		Extracciones, millones de m ³	Agua superficial, %	Agua subterránea, %	Eficiencia global en los distritos de riego, %
I	P de Baja California	3,257	57	43	38.3
II	Noroeste	5,305	56	44	37.8
III	Pacífico Norte	8,679	89	11	34.7
IV	Balsas	6,431	75	25	28.0
V	Pacífico Sur	1,083	90	10	20.3
VI	Río Bravo	6,233	59	41	27.5
VII	C Centrales del Norte	3,570	30	70	38.2
VIII	Lerma-Santiago	11,522	56	44	32.0
IX	Golfo Norte	4,236	81	19	30.1
X	Golfo Centro	1,819	75	25	29.7
XI	Frontera Sur	1,048	68	32	29.7
XII	P de Yucatán	739	4	96	46.0
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	2,288	84	16	32.7
Total		56,210	66	34	33.8

¹² CNA, Sistema de Información Hidroagrícola de Distritos de Riego (SINHDR).

La superficie cosechada de riego total en 2000 fue de alrededor de 4.7 millones de ha y la de temporal fue de 14.1 millones. Casi dos tercios, 65%, de la superficie de riego pertenece a las regiones Lerma-Santiago, Balsas y Noroeste. En la agricultura de temporal, la misma proporción de la superficie cultivada se encuentra en las regiones Lerma-Santiago, Golfo Norte, Golfo Centro, Frontera Sur y Pacífico Sur. Destaca la región Lerma Santiago como la principal proveedora de productos agrícolas.

La producción agrícola satisface la demanda nacional excepto en cereales, forrajes y oleaginosas (Fig.2.4). En el caso de los cereales, a los que actualmente se dedica la mitad de la superficie cosechada, las importaciones han aumentado desde principio de los 70 cuando el consumo superó a la producción, hasta llegar en 2000 a representar 40% de la producción nacional. Puede apreciarse en la gráfica 4, que entre 1961 y 2000 el consumo se multiplicó por un factor de casi 5, y aunque el rendimiento por hectárea mejoró 2.5 veces, la producción se hizo deficitaria porque el área de cultivo lo hizo apenas con un factor de 1.3.

Es de esperar que en los próximos años el consumo de cereales aumente no sólo porque la población seguirá creciendo, sino también porque la propensión al consumo aumentará con el incremento del ingreso por habitante. Se requerirá entonces que aumente el rendimiento por hectárea o aumente la superficie cosechada, en cuyo caso la disponibilidad de agua tendría que ser el criterio que defina en dónde abrir nuevas tierras al cultivo.

El uso de agua en las actividades pecuarias incluye principalmente la producción agrícola de forrajes. En 2000, en el país se cosecharon 700 mil hectáreas de riego y 2.1 millones de temporal destinadas al cultivo de esta clase de productos. La producción de carne y sus requerimientos de agua se muestran en la Tabla 2.8, en donde se muestran los datos de la FAO del consumo equivalente de agua para la producción de un kilo de carne en canal y el ajuste de esas cifras con base en el cultivo nacional de forrajes. Considerando sólo las extracciones de agua de riego y la de otros usos específicos, la demanda de agua de esta actividad es superior a los usos público urbano e industrial.

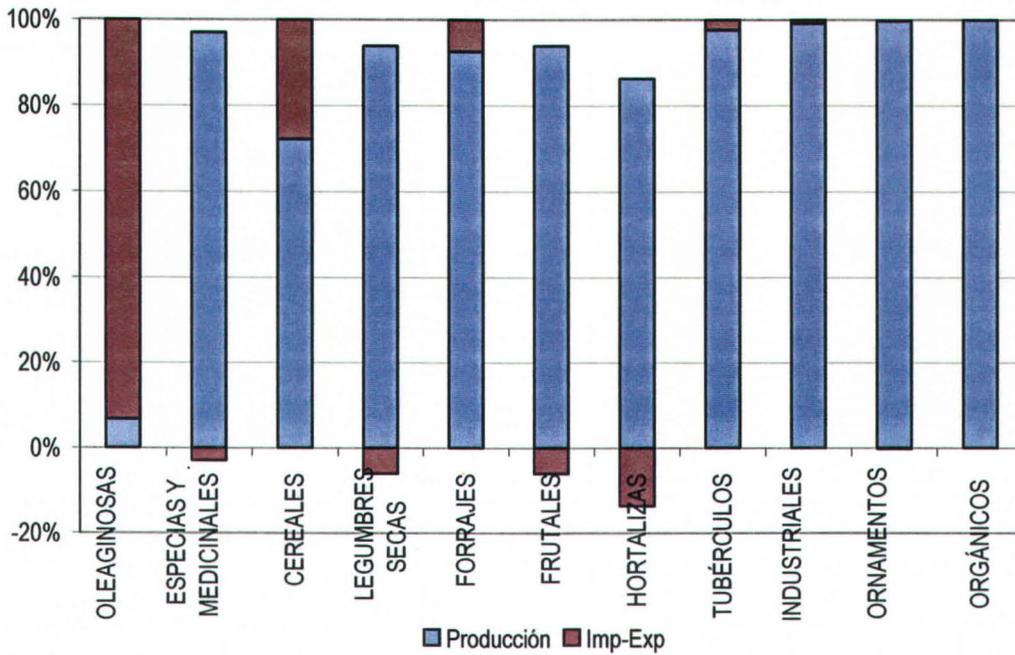


Fig. 2.4. Producción e importaciones-exportaciones de productos agrícolas, 2000

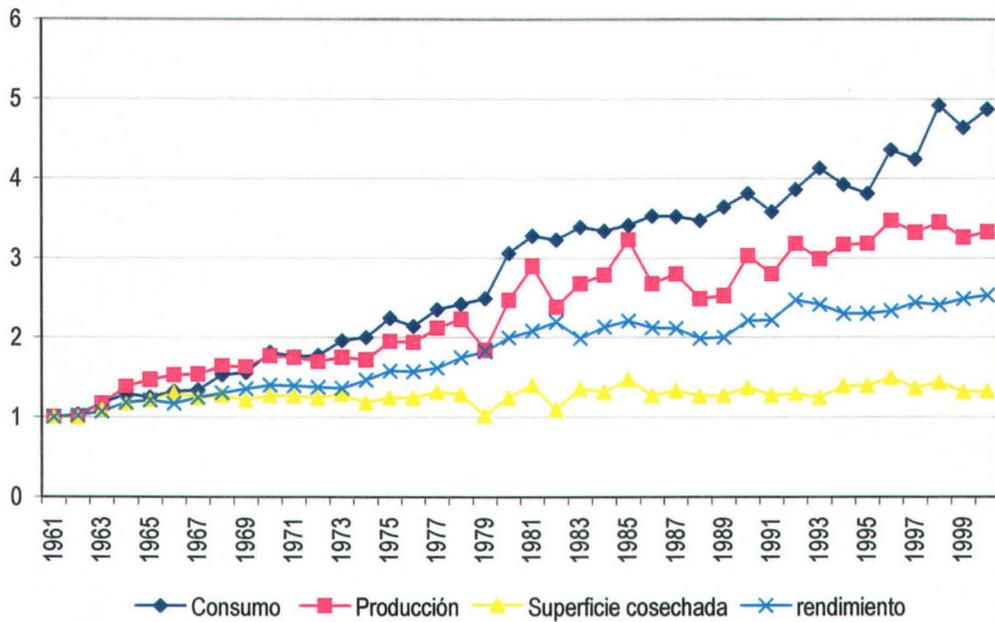


Fig.2.5. Cereales 1961-2000. Consumo, producción y superficie cosechada

Tabla 2.8. Producción pecuaria y agua equivalente, 2000

	Producción de carne en canal, toneladas	Agua equivalente según FAO*, m ³ /kg	Agua equivalente ajustada con los datos de México, m ³ /kg	Agua usada para la producción pecuaria, millones de m ³
Ave	2,029,143	6	5.35	10,850
Bovino	1,415,034	15	13.37	18,915
Caprino	39,256		8.91	350
Ovino	36,391	10	8.91	324
Porcino	1,099,221		8.91	9,796
Total	4,619,045			40,235
Agua usada en:				
Superficie de riego				11,233
Superficie de temporal				24,919
Importación de forrajes, 7% del consumo nacional				2,531
Otros usos específicos				1,553**
Total				40,235

* NU, *Agua para todos, agua para la vida*, 2003

** CNA, *Compendio básico del agua en México*, 2002

Con los resultados de la tabla anterior, más la información sobre la ingesta diaria promedio del mexicano en 2000, se obtienen los resultados de la Tabla 2.9, que muestran la eficiencia hídrica de la carne relativa a su aporte de calorías y proteínas, comparado con el del maíz, en la alimentación promedio del mexicano. Se aprecia, desde este punto de vista, la importancia del maíz en la dieta y las posibilidades que ofrece en la administración del recurso agua.

Tabal 2.9. Eficiencia hídrica del aporte nutricional

Producto	Consumo diario*					Eficiencia hídrica		
	kg/día	Calorías	Gramos de proteína	Gramos de grasa	Agua equivalente de la ingesta diaria, m ³	calorías por m ³	Gr de proteínas por m ³	Gr de grasa por m ³
Maíz	0.356	1,102	28.4	12.2	0.392	2,813	72	31
Bovino	0.049	59	7.3	3.1	0.659	89	11	5
Ave	0.061	85	6.4	6.4	0.328	259	19	19
Puerco	0.034	111	3.7	10.6	0.305	364	12	35

* FAO, *Faostat nutrition data, Food balance sheets*, en www.fao.org

2.3 Uso industrial

En términos del producto interno del sector secundario, las regiones del norte y de Yucatán son las que más rápidamente se han desarrollado, con tasas promedio anuales de entre 4 y 7%, mientras que la región con menor crecimiento, de 2.4%, fue la del Valle de México. Pero la importancia relativa de esta región y el surgimiento de la frontera norte, han conducido a que en 2000 el 55% de la industria se localice en las regiones que más presión tienen sobre los recursos hídricos (Tabla 2.10). Por otra parte, este desequilibrio se compensa por el hecho de que en la industria de estas regiones el agua usada por unidad de producto es de menos de la mitad de la que requieren las empresas del centro del país y de hasta cinco veces menos que el promedio empleado en las del sur y sureste.

Tabla 2.10. PIB del sector secundario y extracciones de agua regionales

Región	PIB del sector secundario en 1970, millones de \$ de 2000	PIB del sector secundario en 2000, millones de \$ de 2000	Factor de de crecimiento	2000	
				Extracciones para uso industrial, millones de m ³	Litros de agua por unidad del PIB secundario
Regiones con presión fuerte del norte: I, II, VI, VII	107,527	370,131	3.4	947	2.56
Región con presión fuerte en el centro: XIII	191,503	391,148	2.0	787	2.01
Regiones con presión media fuerte: III, IV, VIII y IX	141,138	424,719	3.0	2,404	5.66
Regiones con presión moderada y escasa: V, X, XI y XII	63,105	189,416	3.0	1,991	10.51
Total	503,273	1,375,415		6,129	

Ver en Fig. 5 la clasificación del grado de presión.

Además del aparente empleo más eficiente del agua en las empresas industriales del norte y Distrito Federal, la diferencia de las necesidades de agua por unidad de producto se debe a la composición industrial de las regiones. Las ramas industriales que requieren más agua en sus procesos son la azucarera, química, celulosa y papel, petroquímica y la del hierro y del acero (Tabla 2.11, Anexo 1). Como quiera, el consumo actual por cada peso producido en 2000 en el sector industrial en México, de 4.46 m^3 , es mayor que en otros países, por ejemplo en EUA fue alrededor de 2.0 m^3 en 1995¹³, lo que significa que hay un margen amplio de reducción del uso mediante la aplicación de políticas de ahorro de agua.

¹³ De EUA las fuentes fueron: OCDE, *National accounts*, 1997 y USGS, *Circular 1200*.

Tabla 2.11. Ejemplos de la demanda industrial del agua

Industria	Litros de agua por unidad de producto interno bruto	Agua utilizada en 2000, millones de m ³
Azucarera	307	1,644
Química	38	483
Celulosa y papel	21	162
Petroquímica	16	252
Hierro y acero	4.7	162

2.4 Uso en la generación de energía eléctrica¹⁴

La utilización del agua para la generación de electricidad se considera de dos tipos, el uso de agua para el enfriamiento en centrales termoeléctricas y el aprovechamiento de la energía que produce el agua, mediante la construcción de presas de almacenamiento o derivación para las centrales hidroeléctricas.

El uso del agua en las centrales termoeléctricas es consuntivo, el agua se pierde por evaporación y la que retorna al medio natural normalmente contiene compuestos orgánicos en solución. En estas plantas, la mayor cantidad de agua es consumida al evaporarse durante el proceso de enfriamiento. En total se estima que la cantidad de agua que se emplea para el enfriamiento asciende a 0.2 kilómetros cúbicos por año, cifra relativamente pequeña si se considera que solamente representa el 3% del uso industrial total. Por otra parte, en la generación hidroeléctrica se requieren grandes volúmenes de agua, pero prácticamente sin consumo alguno, salvo la evaporación en los embalses, esta evaporación llega a ser de gran importancia sobre todo en el norte del país, donde la evaporación neta es más elevada.

Debido al elevado monto de las inversiones iniciales para las hidroeléctricas, las centrales termoeléctricas han ido ganando terreno, actualmente las hidroeléctricas solo generan el 19% de la producción total.

Aunque el consumo del agua en termoeléctricas es de poca importancia en comparación con los usos industriales totales, la instalación de centrales termoeléctricas genera conflictos en la competencia por el agua, como es el caso de las grandes centrales de Villa de Reyes en San Luis Potosí, Río Escondido y Carbón II en Coahuila. La política de instalación de centrales en las costas, donde se utiliza el agua de mar para el enfriamiento, ha hecho menos problemática esta competencia, aunque resta la posibilidad de instalación de centrales termoeléctricas en zonas

¹⁴ El agua en México: retos y avances. CNA 2000

conflictivas, utilizando tecnologías de enfriamiento de nulo o muy bajo consumo de agua, como la aerocondensación o la reutilización de las aguas residuales.

Las nuevas políticas en materia de sustentabilidad ambiental pueden propiciar un cambio hacia un uso mayor de fuentes alternas, como las hidroeléctricas, las eólicas, geotérmicas, maremotrices y solares. Teniendo las hidroeléctricas ventajas adicionales como el control de avenidas, el riego agrícola, el abasto de agua a poblaciones y la acuicultura. Recientemente se construyeron importantes centrales hidroeléctricas como Huites, Zimapán, Aguamilpa y El Cajón, quedando todavía un potencial importante por aprovechar.

COMENTARIOS

CAPÍTULO 3

ESCENARIOS DE DEMANDA

Los estudios sobre el futuro requieren analizar el pasado de las variables que interesa prospectar. La distancia que separa el presente de la fecha de los escenarios futuros, 30 años en nuestro caso, es al menos la misma distancia histórica que conviene revisar en el análisis retrospectivo. La retrospectiva es necesaria porque en el pasado se encuentran las raíces de la mayor parte de los eventos que tendrán lugar en el futuro. Además, permite observar la velocidad y dirección de los cambios en las variables de interés.

La única limitante en la retrospectiva es la cantidad de información confiable con que puede contarse. Afortunadamente, para el objeto de estudio se cuenta con suficiente información demográfica, del valor agregado de los sectores productivos y de las superficies cosechadas de riego y temporal, pero de las extracciones y usos de agua solamente se tiene información desde 1980.

Este apartado se refiere a los cambios observados entre 1980 y 2000 en las extracciones de agua y algunas de las variables que las impactaron. No fue posible hacer el análisis regional debido a que la información obtenida de las extracciones de 1980 se basa en una regionalización diferente a la que se emplea en la actualidad. En la Tabla 3.1 se concentran los datos sobre población, producto interno, superficie cosechada, producción pecuaria y extracciones.

Tabla 3.1. Población, superficie cosechada, PIB y extracciones 1980 y 2000

Concepto	1980	2000	Factor de crecimiento
Población, millones	66.8	97.5	1.46
Población urbana, millones	44.3	72.8	1.64
Población rural, millones	22.5	24.7	1.10
Población de 15 a 49 años que terminó al menos la secundaria, %	26.8	54.1	2.02
Población con agua entubada, millones	63.1	82.1	1.30
Población con drenaje, millones	49.5	72.3	1.46
Superficie cosechada de riego, millones de hectáreas	4.9	4.7	0.96
Superficie cosechada de riego de alfalfa, miles de ha	230.0	324.2	1.41
Producción de carne en canal, millones de toneladas	2.8	4.6	1.67
PIB, miles de millones de pesos de 2000	2,946.7	4,980.1	1.69
PIB/habitante, miles de pesos de 2000	44.1	51.1	1.16
PIB sector secund., miles de millones de pesos de 2000	1,080.8	1,375.5	1.27
Extracciones para uso público urbano, millones de m ³	4,184	8,291	1.98
Extracciones para uso agropecuario, millones de m ³	45,953	57,763	1.26
Extracciones para uso industrial, millones de m ³	5,802	6,129	1.06
Suma de extracciones, millones de m ³	55,939	72,183	1.29

Con un crecimiento promedio anual cercano al 2%, la población se multiplicó por un factor de 1.46, y la distribución por edades se modificó aumentando la participación de las cohortes en edad de trabajar, por lo que el índice demográfico de dependencia se redujo de 88% a 64%¹⁵. Aunque en estos veinte años el acceso al sistema educativo ha aumentado, y cada vez más la población entre 15 y 49 años tiene mejores niveles educativos, todavía una gran parte de la población económicamente activa (46% no terminó la secundaria) tiene un nivel educativo menor al que requieren los puestos de trabajo en las actividades de media a alta tecnología.

Entre 1980 y 2000 el valor del PIB aumentó más rápido que la población, por lo que el ingreso por habitante creció 16%. Sin embargo, es notable el desaceleramiento de la economía en relación con los veinte años anteriores a 1980 cuando el ingreso per cápita aumentó 89%. Además, en los últimos 20 años la distribución del ingreso se deterioró, pues la relación entre el quintil de la población que obtiene más ingresos entre el quintil de la población que menos ingresa pasó de 13.6 en 1984 a 14.2 en 1996¹⁶.

¹⁵ El índice de dependencia es el cociente de (número de habitantes de edades 0 a 14 años+ número de habitantes de 65 y más años)/ (número de habitantes entre las edades 15 a 64 años).

¹⁶ Banco Mundial, World Development Indicators, 1995 y 2001.

De otra parte, el sector secundario disminuyó su participación en el PIB de 36.7% en 1980 a 27.6% en 2000, mientras que el terciario la aumentó de 56% a 68% en ese mismo lapso, aumento que en las circunstancias de México significa en buena parte más empleo informal en las ciudades.

Uso público urbano. Entre 1980 y 2000 la población se volvió más urbana, con mayor cobertura de agua entubada y con mayores ingresos por habitante. Consecuentemente, las necesidades de agua potable casi se duplicaron. Los factores que más influyeron fueron la urbanización y la ampliación de los servicios de agua entubada, que en 2000 llegó a 84.6% de la población total. La tendencia a usar más agua cuanto más ingreso familiar se tiene también influyó, y es de esperar que este factor tenga más importancia en la medida que el PIB crezca a tasas superiores a la del promedio anual de 2.65% registrado en estos últimos 20 años y la población disminuya su ritmo de crecimiento.

Uso agropecuario. Aunque la superficie cosechada con riego disminuyó entre 1980 y 2000, la extracción de agua aumentó 26%. Una primera explicación a este aparente hecho contradictorio es que los volúmenes de agua de 1980 son estimados, y aún en 2000 las extracciones de agua subterránea no son del todo precisas. En segundo lugar, en los distritos de riego, donde el uso del agua es más eficiente, se perdieron 428 mil hectáreas, mientras que la superficie no controlada aumentó 220 mil. Por otra parte, la producción de carne en canal se multiplicó por un factor de 1.67, con la consiguiente necesidad de producir más forrajes, algunos de los cuales, como la alfalfa, requieren láminas de riego mayores. Finalmente, otra posible explicación del incremento de las extracciones de agua para la agricultura reside en el hecho que desde mediados de los años 80 la inversión en infraestructura hidroagrícola disminuyó drásticamente hasta volverse casi nula a finales de los años 90, lo que lógicamente afectó el mantenimiento y la eficiencia de los sistemas de conducción.

Uso industrial. A pesar de que el producto interno del sector secundario aumentó 27% entre 1980 y 2000, las extracciones de agua sólo crecieron 6%. Esto significa que las empresas industriales mejoraron la eficiencia a una tasa aproximada de 1% anual cada año, hecho coincidente con las tendencias mundiales de ahorro de agua en la industria. Es de esperar que la eficiencia mejore aún más en la medida que se de el cambio tecnológico de los procesos de producción y se sostenga la diferencia en el cobro de los derechos de agua según la disponibilidad regional del recurso.

3.1 Proyecciones de población

CONAPO ha calculado estimaciones de la población municipal hasta 2030. Con ellas se obtienen la distribución porcentual y las poblaciones totales regionales que se presentan en las tablas 3.2 y 3.3. Puede verse que las regiones que aumentarán su población más aceleradamente son Península de Baja California (I), Noroeste (II) y Río Bravo (VI) en el norte y Frontera Sur (XI) y Península de Yucatán (XII) en el sur.

Tabla 3.2. Distribución porcentual de la población entre regiones. Datos históricos y proyecciones a 2030

Año	Regiones												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Datos históricos													
1950	1.12	2.26	4.49	12.01	4.63	8.08	5.89	20.58	6.93	11.24	4.99	2.56	15.22
1960	1.72	2.48	4.27	11.06	4.36	8.71	5.22	20.25	6.28	10.74	4.95	2.37	17.59
1970	2.07	2.48	4.37	10.37	4.14	9.03	4.52	19.25	5.84	10.32	4.90	2.26	20.44
1980	2.08	2.43	4.38	9.94	3.83	8.94	4.23	18.55	5.46	10.05	4.76	2.55	22.80
1990	2.44	2.38	4.20	10.06	4.11	9.17	4.13	19.29	5.16	9.90	5.84	2.93	20.39
2000	2.99	2.38	3.93	10.24	4.03	9.66	3.85	19.34	4.81	9.36	6.00	3.30	20.11
Proyecciones													
2010	3.51	2.49	3.81	10.02	3.83	10.35	3.65	19.12	4.67	8.94	6.21	3.62	19.78
2020	4.00	2.59	3.68	9.79	3.63	10.98	3.49	18.86	4.53	8.54	6.35	3.94	19.61
2025	4.24	2.64	3.62	9.68	3.54	11.27	3.42	18.74	4.47	8.37	6.41	4.10	19.51
2030	4.46	2.69	3.56	9.57	3.46	11.55	3.37	18.62	4.40	8.20	6.47	4.24	19.42

De confirmarse lo que señalan estas proyecciones, siete de las trece regiones, Lerma Santiago, Valle de México, Río Bravo, Balsas, Frontera Sur, Península de Baja California y Península de Yucatán absorberán 83% del crecimiento de 29 millones esperado en los próximos 30 años, cuatro de las cuales ya actualmente presentan severos problemas de disponibilidad de agua.

Tabla 3.3. Poblaciones regionales 2000 y 2030

Región		2000	2030
I	Península de Baja California	2,911,408	5,669,603
II	Noroeste	2,321,121	3,417,401
III	Pacífico Norte	3,830,321	4,528,638
IV	Balsas	9,985,404	12,169,949
V	Pacífico Sur	3,927,685	4,405,901
VI	Río Bravo	9,417,492	14,695,950
VII	Cuencas Centrales del Norte	3,750,847	4,284,838
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	18,853,414	23,686,232
IX	Golfo Norte	4,691,707	5,596,296
X	Golfo Centro	9,121,672	10,428,228
XI	Frontera Sur	5,853,616	8,226,073
XII	Península de Yucatán	3,215,461	5,396,079
XIII	Valle de México	19,603,264	24,700,398
Suma		97,483,412	128,926,906

La tendencia de la distribución entre población urbana y rural muestra sin lugar a dudas la preponderancia de la primera en todas las regiones. En las siguientes figuras se puede apreciarse

lo anterior en los datos de 1970 a 2000 y su proyección al 2030 del país y de tres regiones cuyos comportamientos son típicos. La población urbana llegará en 2030 a 87% del total, pero en las regiones Península de Baja California, Río Bravo y Valle de México la urbana excederá 95%, y en las de Golfo Norte, Golfo Centro y Frontera Sur será inferior a 70%.

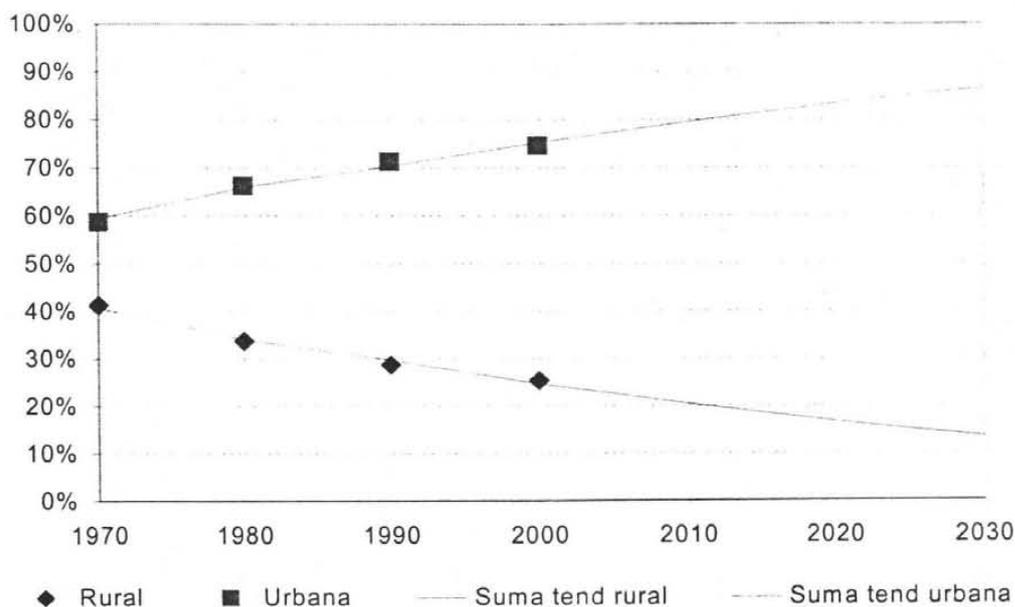


Fig. 3.1. República Mexicana. Escenario tendencial de la población rural y urbana

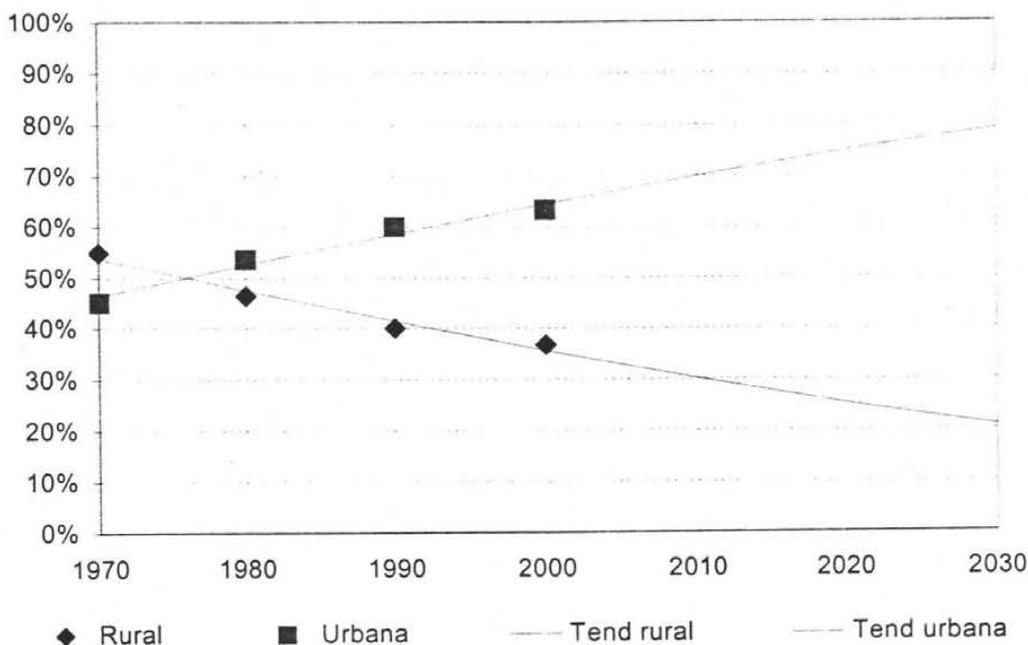


Fig. 3.2. Región III: Pacífico Norte. Escenario tendencial de la población rural y urbana

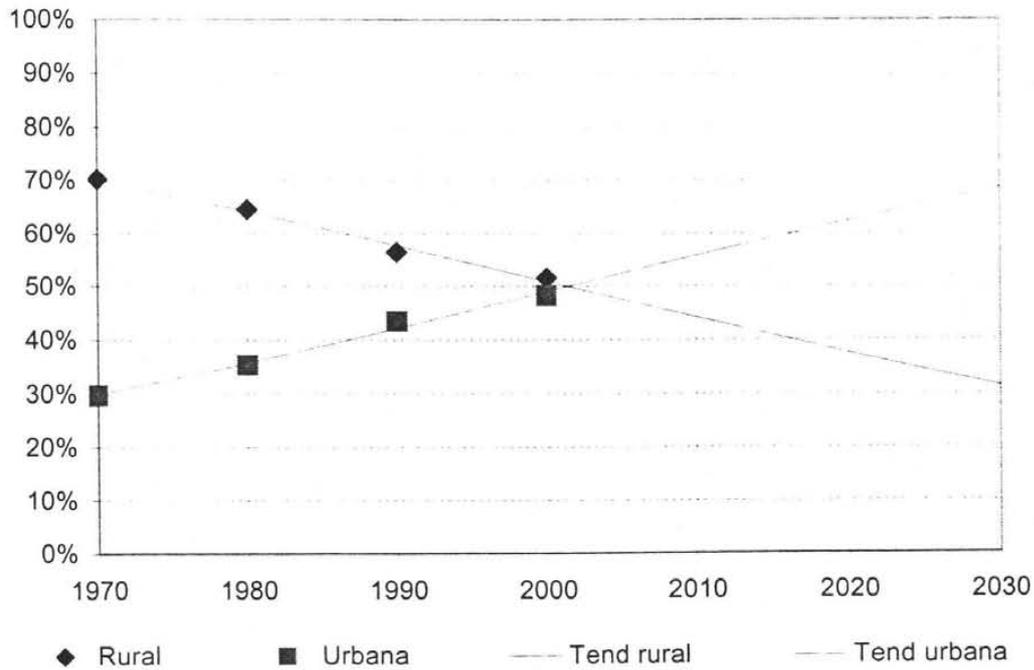


Fig. 3.3. Región IV: Frontera Sur. Escenario tendencial de la población rural y urbana

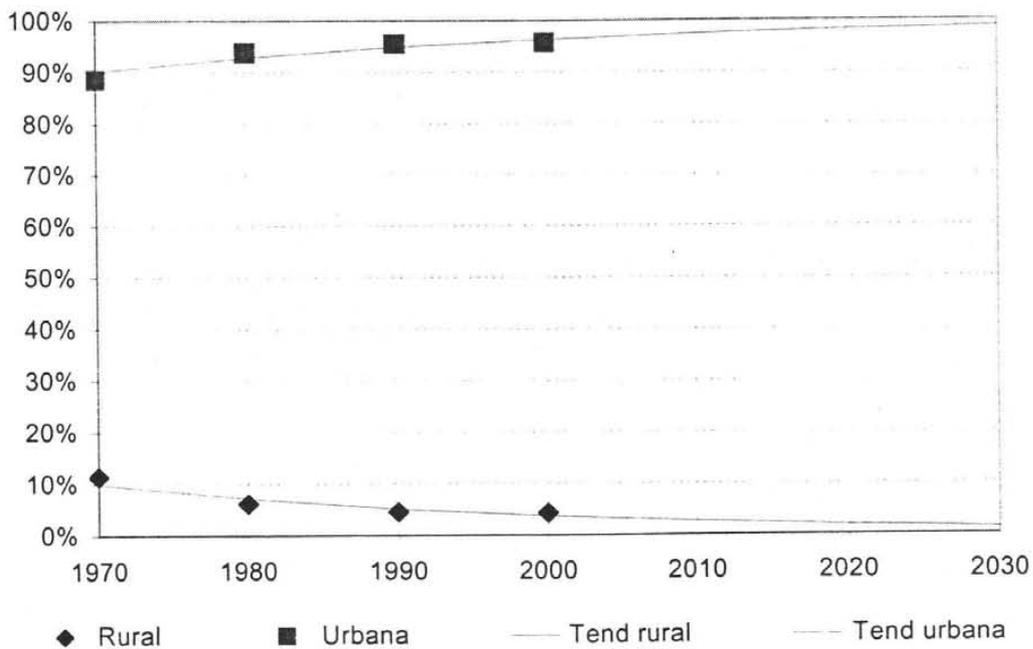


Fig. 3.4 Región: XIII: Valle de México. Escenario tendencial de la población rural y urbana

3.2 Escenarios de demanda de agua 2000-2030

Un escenario es la descripción del futuro de un conjunto de variables que representen el objeto de estudio, y el trayecto que posiblemente sigan desde la situación actual a la situación futura. Algunas variables tienen un comportamiento inercial, es decir que los mecanismos que las generan cambian lentamente. La proyección hacia el futuro de esta clase de variables da lugar a menos errores de estimación que la proyección de variables con menos inercia. La disponibilidad natural de agua y el tamaño de la población son ejemplos de la primera clase de variables; en cambio, el crecimiento del producto interno bruto, que muestra variaciones más altas en su comportamiento, es un ejemplo de la otra clase de variables.

El futuro de la demanda de agua en los próximos 30 años se definirá en función tanto de las decisiones que se tomen desde ahora, como de los eventos no previstos que ocurran en el transcurso del tiempo. Aunque el futuro está limitado por las condiciones iniciales y por lo que técnicamente es factible que suceda, el haz de posibilidades que se abre a la demanda de agua abarca un número considerable de escenarios posibles.

A fin de evitar una multiplicidad innecesaria de escenarios, la estimación de demandas futuras se basa en un sólo escenario de la evolución de la población y su distribución regional, aceptando como plausibles las estimaciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

Se examinan dos alternativas de crecimiento del producto interno bruto por habitante: una es la sugerida por la evolución histórica de casi dos siglos, que proyecta a 2030 un PIB/cápita similar al que ahora tienen Hungría y la República Checa; otra supone que el producto por habitante de 2000 se duplique en los próximos 30 años, lo que conduciría a un ingreso parecido al que ahora tienen España y Corea. El crecimiento promedio anual del PIB/cápita requerido por estas alternativas es 2.1% y 3.3% respectivamente. La distribución regional del PIB seguirá las tendencias registradas desde 1970, que señalan un desarrollo más dinámico que el promedio en algunas regiones de la frontera del norte y la península de Yucatán y uno menos rápido en la altiplanicie, la zona costera del Golfo de México y la frontera sur.

3.2.1 Escenario del producto interno bruto regional

De seguir las tendencias históricas de los PIB regionales, en los próximos 30 años las regiones que más rápido se desarrollarán serán las de Río Bravo, Península de Yucatán y Península de Baja California, cuya participación en el producto nacional pasará de 23% a 28% en los próximos 30 años, y las que lo harán con menor dinamismo serán las del Valle de México y Pacífico Norte (Fig. 3.5, Tabla 3.4).

No obstante, la generación del producto seguirá concentrada en las regiones que alojan las zonas industriales de Monterrey, Guadalajara y la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Considerar solamente el escenario tendencial, simple o con pequeñas variaciones como se hace en este documento, tiene el defecto de no ofrecer al lector alternativas más imaginativas, pero tiene la ventaja de no complicar demasiado el ejercicio de ver hacia el futuro.

Con la tasa del crecimiento del PIB es relativamente sencillo visualizar más de un escenario. Como se dijo anteriormente, se han seleccionado las tasas promedio anuales de 2.1% y 3.3% de aumento del PIB nacional. La Tabla 3.4 presenta los PIB y los PIB/h para tres posibles trayectos de crecimiento y distribución regional, escenarios que, junto con el de la población, serán empleados en la estimación de la demanda de agua.

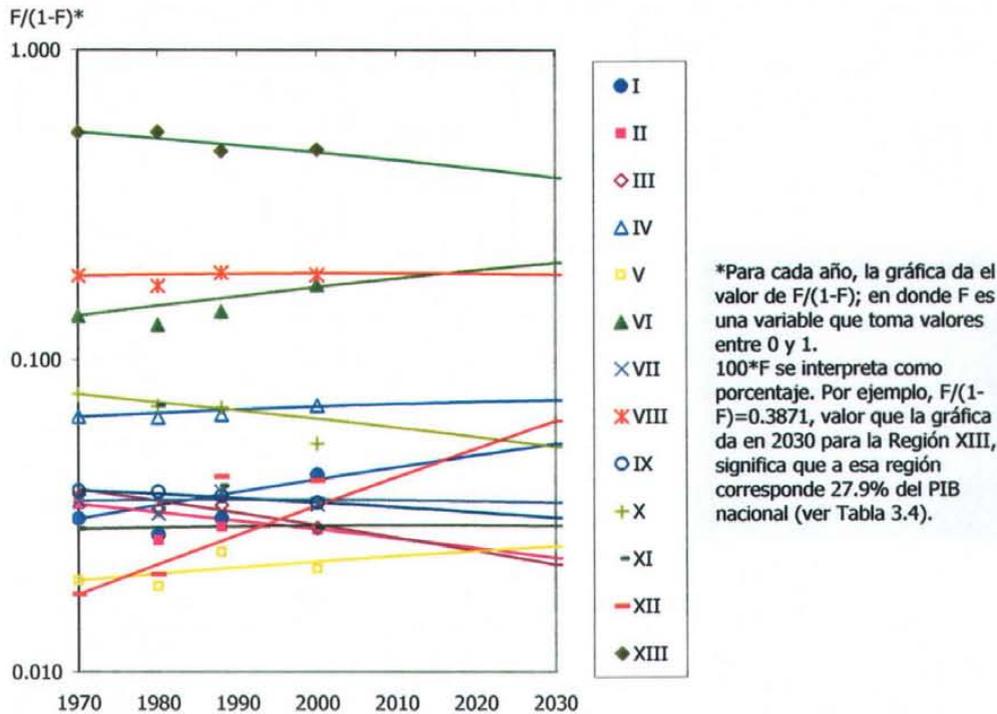


Fig. 3.5. Datos históricos y proyección de la participación regional del PIB

Tabla 3.4. Tres escenarios del PIB y del PIB/H regionales en 2030

Región		2000			PIB en 2030, miles de millones de pesos de 2000			PIB/H en 2030, miles de pesos de 2000	
		PIB, miles de millones de pesos	%	PIB/H, miles de pesos	Crec anual 2.1	Crec anual 3.3	%	Crec anual 2.1	Crec anual 3.3
I	Península de Baja California	205	4.1	70	474	673	5.1	84	119
II	Noroeste	138	2.8	60	211	299	2.3	62	87
III	Pacífico norte	140	2.8	37	201	285	2.2	44	63
IV	Balsas	331	6.7	33	642	912	6.9	53	75
V	Pacífico Sur	104	2.1	27	229	325	2.5	52	74
VI	Río Bravo	741	14.9	79	1,586	2,252	17.1	108	153
VII	Cuencas Centrales del Norte	166	3.3	44	313	445	3.4	73	104
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	789	15.8	42	1,474	2,093	15.9	62	88
IX	Golfo Norte	168	3.4	36	281	399	3.0	50	71
X	Golfo Centro	255	5.1	28	464	660	5.0	45	63
XI	Frontera Sur	141	2.8	24	265	376	2.8	32	46
XII	Península de Yucatán	196	3.9	61	557	791	6.0	103	147
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	1,607	32.3	82	2,592	3,681	27.9	105	149
Suma		4,980		51	9,290	13,190		73	104

3.2.2 Escenario de demanda municipal urbana

En los escenarios que siguen se utilizan los tres factores más influyentes en la demanda de agua para servicios municipales y domésticos: el tamaño de la población, el ingreso promedio por habitante y las pérdidas en los sistemas de abastecimiento. Las extracciones contabilizadas para los servicios municipales y domésticos aparentemente miden el consumo de la población urbana (localidades de más de 2500 habitantes). Sin embargo, en este documento se utiliza la población total por considerar que hacia 2030 prácticamente toda la población contará con el servicio de agua potable.

La relación entre el consumo de agua y el ingreso *per cápita* se obtuvo con los datos de población y extracciones de 2000, pero reduciéndolas al consumo neto por habitante mediante una eficiencia física de distribución del 60%. La Fig. 3.6 muestra la función utilizada para estimar el consumo futuro por persona.

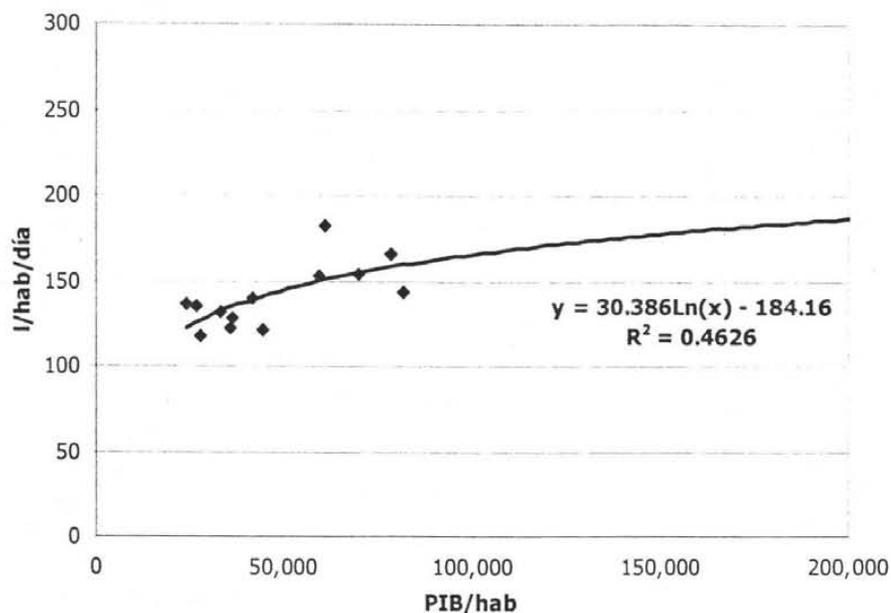


Fig. 3.6. Relación entre el ingreso por habitante y la demanda de agua para uso público urbano

Con los antecedentes anteriores, los escenarios de la demanda para uso municipal urbano se basan en las siguientes

Hipótesis:

- ◇ Las poblaciones regionales evolucionarán según los escenarios de la Tabla 3.3
- ◇ Los PIB/h regionales variarán según se expone en la Tabla 3.4, y la propensión al consumo de agua por persona se comportará como la tendencia expuesta en la Fig. 3.6.
- ◇ La eficiencia de los sistemas de abastecimiento se mantendrán como están actualmente aproximadamente 0.60.

Bajo estas condiciones, el consumo promedio neto por habitante pasaría de 233 l/h/d en 2000 a entre 257 y 274 en 2030, dependiendo del crecimiento del PIB. Por su parte, las extracciones totales pasarían de 8,300 millones de m³ anuales en 2000 a entre 12,000 y 12,800 millones de m³ en 2030, si se conservaran las actuales eficiencias en los sistemas de abastecimiento.

Tabla 3.5. Escenarios de la demanda de agua municipal y urbana en 2030, con las eficiencias de 2000

Región Administrativa		Consumo l/h/d			Extracciones, millones de m ³ / año		
		2000	2030, 2.1	2030, 3.3	2000	2030, 2.1	2030, 3.3
I	Península de Baja California	155	160	171	274	553	589
II	Noroeste	153	151	162	216	314	336
III	Pacífico norte	128	141	152	299	388	418
IV	Balsas	132	146	157	800	1,083	1,162
V	Pacífico Sur	135	146	156	323	391	419
VI	Río Bravo	165	168	179	948	1,502	1,597
VII	Cuencas Centrales del Norte	121	156	167	276	407	435
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	140	151	162	1,606	2,180	2,333
IX	Golfo Norte	122	145	155	348	493	529
X	Golfo Centro	117	141	152	650	895	963
XI	Frontera Sur	136	131	142	485	657	710
XII	Península de Yucatán	182	167	177	356	547	582
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	143	167	178	1,710	2,511	2,672
	Nacional (<i>Consumo Neto</i>)	233	257	274	8,291	11,920	12,744

3.2.3 Escenarios de demanda industrial

De seguir las tendencias observadas desde 1970, el sector terciario de la economía nacional seguirá siendo el más dinámico y su participación llegará hasta 72% en 2030, mientras que el porcentaje del secundario disminuirá 1% en los próximos 30 años y el primario bajará de 4% a 1.3% (Fig.3.7, Tabla 3.6).

Aunque en 2030 el sector industrial aporte menos porcentaje al total del PIB, estas actividades aumentarán su volumen de producción entre 2 y 4 veces más que en 2000, si la economía general crece anualmente a las tasas aquí supuestas.

Tabla 3.6. República Mexicana. Participación porcentual en el PIB. 1970-2030

	Primario	Secundario			Terciario
		Minería	Manufacturas	Otros	
Datos históricos					
1970	12.0	2.5	23.4	6.4	55.7
2000	4.0	1.4	20.1	6.1	68.3
Proyección					
2010	2.9	1.3	21.4	5.6	68.7
2020	2.0	1.0	20.8	5.5	70.7
2030	1.3	0.8	20.2	5.6	72.1

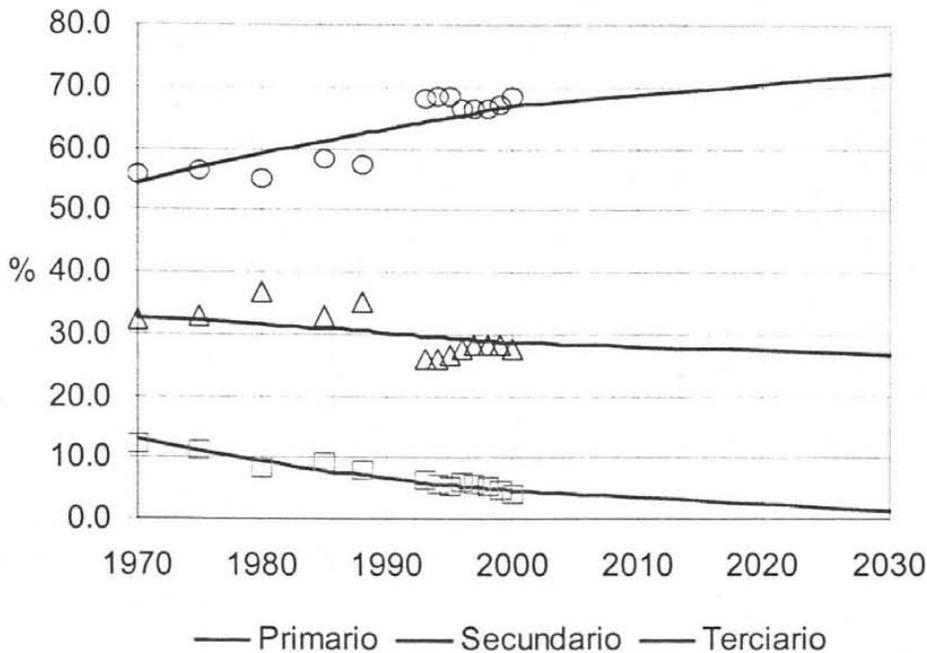


Fig. 3.7. República Mexicana. Tendencia del PIB sectorial

No existe en el país información municipal de los PIB de las ramas manufactureras que serían necesarios para regionalizar la demanda de agua industrial. Se cuenta, en cambio, con esa información de los estados y con la de la población económicamente activa por municipios. A partir de estos datos se obtuvo la regionalización de los PIB municipales, tanto de las industrias de alto como las de bajo consumo. En el Anexo 2 se detalla el procedimiento seguido.

Con procedimientos de ajuste de las tendencias similares al mostrado en la Fig. 3.6, se obtienen las proyecciones de la distribución sectorial del PIB de cada región, cuyo resumen se muestra en la Tabla 3.7. En ella se destaca la tendencia hacia la vocación terciaria que tendrá lugar entre 2000 y 2030 en las regiones III, V, XI y XIII en detrimento de las actividades primarias en las regiones III, V y XI y de las secundarias en las regiones XI y XIII. Es decir que el incremento total del PIB que se logre en estas regiones entre 2000 y 2030 será generado principalmente por las actividades del sector terciario; aún más en el Valle de México en donde el terciario también absorberá la disminución del secundario.

En las regiones VII, II y IX el sector secundario crecerá más rápido que el primario y el terciario. En la VII, el secundario y el terciario aportará cada uno la mitad del incremento total del PIB

generado en los próximos 30 años, mientras que en las regiones II y IX, el aumento del PIB será originado alrededor de 40% por el secundario y 60% por el terciario (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Distribución sectorial del PIB regional, 2000 y 2030

Regiones		2000			Escenario 2030		
		Primario	Secundario	Terciario	Primario	Secundario	Terciario
I	Península de Baja California	1.9	26.8	71.3	0.6	25.4	74.1
II	Noroeste	6.9	27.8	65.4	1.3	36.3	62.4
III	Pacífico Norte	14.1	17.3	68.7	6.9	15.0	78.2
IV	Balsas	7.2	28.1	64.7	2.4	29.3	68.3
V	Pacífico Sur	7.9	16.3	75.8	3.1	15.8	81.0
VI	Río Bravo	2.1	32.2	65.7	0.6	31.9	67.5
VII	Cuencas Centrales del Norte	8.2	32.3	59.5	3.4	42.4	54.2
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	6.0	28.9	65.1	1.7	29.5	68.8
IX	Golfo Norte	9.3	29.6	61.1	3.3	35.5	61.2
X	Golfo Centro	8.6	30.1	61.3	3.3	32.1	64.6
XI	Frontera Sur	8.1	25.6	66.4	2.0	21.8	76.2
XII	Península de Yucatán	2.9	29.0	68.1	0.6	26.8	72.6
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	0.3	25.4	74.3	0.1	18.8	81.1

Algunas de las actividades industriales consumen más agua que otras. En el Anexo 1 se incluye una lista de las ramas cuyos procesos requieren agua en abundancia¹⁷.

El cambio de perfil de las manufacturas se ha venido inclinando hacia las ramas que demandan menos agua en sus procesos productivos. Las industrias de productos alimenticios, textiles y de papel han disminuido su participación en el PIB manufacturero en casi 16 puntos. Por su parte, las divisiones de sustancias químicas y productos de plástico y de productos metálicos han sido más dinámicas que el conjunto manufacturero y su crecimiento se ha cargado hacia las ramas de consumo bajo, de modo que en estas dos divisiones el saldo ha sido favorable al consumo de agua en 12 puntos (ver algunos ejemplos en la Tabla 3.8). En total, entre 1970 y 2000, las industrias de consumo alto redujeron su participación en el PIB manufacturero de 54% a 45%. Y de seguir esa tendencia, en 2030 podría llegar a 35%.

¹⁷ Estas ramas fueron identificadas a partir de las cuatro referencias indicadas en el Anexo 2.

Tabla 3.8. Cambios en la distribución porcentual del PIB manufacturero entre 1970 y 2000

Industria Manufacturera	1970 %	2000 %
Industrias de alto consumo de agua	54.23	45.27
Beneficio y molienda de cereales	3.68	1.47
Molienda de nixtamal y fabricación de tortillas	3.52	1.06
Industria textil de fibras duras y cordelería de todo tipo	5.59	2.35
Industria básica del hierro y el acero	4.52	2.21
Industria azucarera	1.69	0.58
Industrias de bajo consumo de agua	45.77	54.73
Petroquímica básica	0.63	2.53
Elaboración de productos de plástico	1.42	3.35
Fundición y moldeo de piezas metálicas ferrosas y no ferrosas	11.52	14.04
Industria automotriz	4.7	10.14
Total industria manufacturera	100.00	100.00

La Tabla 3.9 muestra la posible evolución del sector manufacturero, distinguiendo aquellas ramas más consumidoras de las que requieren menos agua en sus procesos. En la tabla se aprecia que, al nivel nacional, las industrias más consumidoras multiplicarán su producto por un factor de entre 1.5 y 3, dependiendo de las tasas de crecimiento del PIB, por lo que se demandará más agua industrial en esas mismas proporciones, a menos que se vuelvan más eficientes. Las regiones cuya industria más consumidora de agua se desarrollará por arriba de la media nacional son la V, VI, VIII, IX y XI, dos de las cuales, la VI y la VIII tienen actualmente presión alta sobre sus recursos hídricos. En cambio, las regiones en las que el desarrollo manufacturero se inclinará más hacia las ramas menos consumidoras de agua son la I, II, III, IV, X, XI y XIII, lo que resulta afortunado en las dos regiones del noroeste del país y la del Valle de México, en las que la escasez de agua ya representa en la actualidad una limitante para el desarrollo industrial.

Tabla 3.9. PIB regional de las manufacturas de consumo alto y bajo de agua en sus procesos de producción, 2000 y 2030.

Miles de millones de pesos de 2000

Región Administrativa		2000			2030 (según tasa anual de crecimiento del PIB nacional 2000-2030)					
					2.10%			3.30%		
		De consumo alto	Consumo bajo	Total	De consumo alto	Consumo bajo	Total	De consumo alto	Consumo bajo	Total
I	Península de Baja California	10	30	40	12	85	97	17	121	138
II	Noroeste	10	16	27	10	53	63	14	76	90
III	Pacífico Norte	9	5	13	8	7	15	12	9	21
IV	Balsas	32	38	71	44	114	159	63	163	226
V	Pacífico Sur	9	1	10	24	1	25	34	2	36
VI	Río Bravo	90	105	195	157	298	456	223	423	647
VII	Cuencas Centrales del Norte	20	22	41	30	87	117	43	123	166
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	84	87	171	138	208	346	196	295	491
IX	Golfo Norte	17	17	34	29	49	78	41	70	110
X	Golfo Centro	32	21	53	41	68	109	58	97	155
XI	Frontera Sur	5	2	7	6	2	8	9	3	12
XII	Península de Yucatán	8	4	13	14	3	17	21	4	24
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	136	192	327	162	223	386	231	317	548
	Suma	462	540	1,002	677	1,199	1,877	962	1,703	2,665

Con las consideraciones anteriores, los escenarios de la demanda industrial de agua se construyen mediante las siguientes hipótesis:

- ◇ La tasa de crecimiento anual del PIB entre 2000 y 2030 promediará 2.1% y 3.3%
- ◇ El PIB nacional se distribuye entre regiones como se indica en la Tabla 3.7.
- ◇ La eficiencia del uso del agua en las manufacturas se conservará como hasta ahora

Bajo estos supuestos los escenarios de la demanda de agua industrial por regiones se muestran en la Tabla 3.10, en la que puede verse la importancia de promover, mediante tarifas u otra clase de estímulos, el mejoramiento de la eficiencia del uso del agua en algunas regiones críticas, como Río Bravo, Lerma-Santiago, Golfo Norte y Valle de México.

Tabla 3.10. Escenarios de demanda industrial en 2030Millones de m³

Regiones administrativas	2000	Tasas anuales de crecimiento del PIB	
		2.1%	3.3%
		Si no mejora la eficiencia	Si no mejora la eficiencia
Península de Baja California	147	174	246
Noroeste	51	48	69
Pacífico Norte	150	144	205
Balsas	480	662	939
Pacífico Sur	144	398	564
Río Bravo	611	1,072	1,522
Cuencas Centrales del Norte	138	212	300
Lerma-Santiago-Pacífico	1,233	2,018	2,865
Golfo Norte	541	916	1,300
Golfo Centro	1,453	1,875	2,662
Frontera Sur	286	324	460
Península de Yucatán	108	187	266
Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	787	942	1,337
Suma	6,129	8,971	12,738

Los proyecciones indican que sólo por el consumo industrial, si no aumenta la eficiencia en el uso del agua, la presión sobre los recursos hídricos del país se incrementaría entre 0.4% y 1.2%, dependiendo de la tasa de crecimiento del PIB. Pero hay regiones en las que el aumento de la demanda industrial podría derivar en problemas graves de abastecimiento por el incremento a que daría lugar en el grado de presión. En la región Valle de México el uso industrial del agua haría que el grado de presión, que en 2000 fue de 126%, aumentara entre 4% y 14% si no mejorara la eficiencia, mostrando que en esta región el desarrollo industrial está muy limitado por la disponibilidad de agua.

En la región Río Bravo, cuyo grado de presión ya es de 57% podría llegar a entre 60% y 63%, según el crecimiento del PIB, si no se aplicaran programas de ahorro de agua en sus empresas industriales. La región Cuencas Centrales del Norte se encontraría también en problemas graves pues el uso industrial de agua, sin políticas de aumento de la eficiencia, podría incrementar su grado de presión a 61%.

Península de Baja California y Lerma Santiago son regiones que se verán afectadas por el desarrollo industrial. La primera porque su grado de presión actual es ya de 83%; en esta región lo que haría falta es reducir la cifra anterior a través del aumento de la eficiencia, independientemente de cuánto crezcan las actividades manufactureras.

3.2.4 Escenarios de demanda agropecuaria

En los últimos 20 años se han perdido alrededor de 650 mil ha en el norte del país por diversos factores adversos, entre los que pueden mencionarse el agotamiento de los acuíferos o la profundización de sus niveles freáticos, con el consiguiente encarecimiento del bombeo, y la intrusión de aguas salobres en ellos. En cambio, en esos mismos años, se abrieron cerca de 230 mil ha de irrigación en las regiones Balsas, Lerma-Santiago y las del sur, excepto Península de Yucatán. Una gran parte de estas nuevas tierras se riegan, sin control oficial, con agua extraída directamente del cauce a lo largo de los ríos y es la razón por lo que se han presentado conflictos de intereses, como en el caso de la reducción del volumen que ingresa al lago de Chapala. Ambos fenómenos explican la ligera tendencia decreciente de la superficie regada (Fig. 3.8). Por su parte, las observaciones de 1958 a 2000 de la lámina de agua de riego requerida en los cultivos muestran una tendencia a decrecer, aunque con cambios bruscos de un año al otro, posiblemente debidos a la variación de las lluvias (ver figuras 1.5 y 3.9).

Considerando la producción de forrajes y el uso pecuario directo, la producción de carne es una de las actividades que más agua demanda, aproximadamente 20% del total extraído para fines agropecuarios. La tendencia sugiere un crecimiento sostenido en los siguientes 30 años (Fig. 3.8).

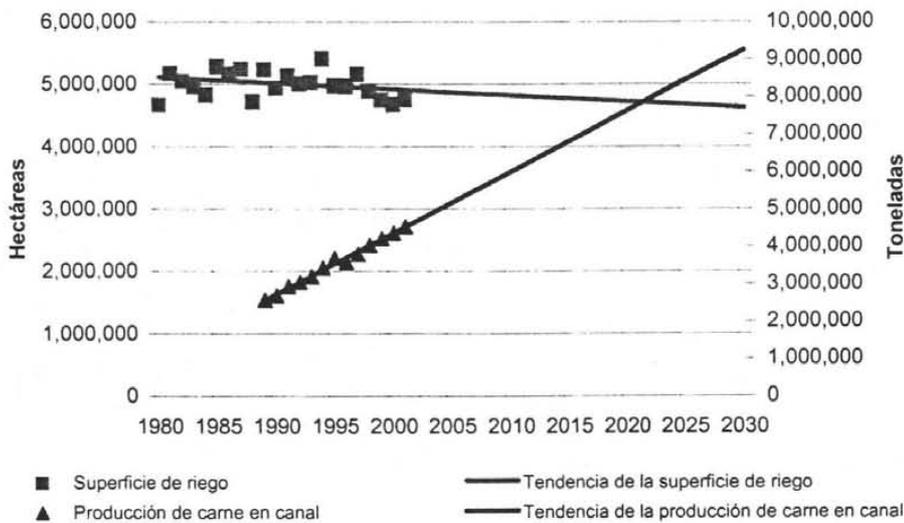


Fig. 3.8. Tendencias de la superficie de riego y la producción de carne en canal

A diferencia de la superficie de riego, la de temporal tiende a aumentar. La Fig. 3.10 muestra el ajuste logístico de esta tendencia, sujeta a una asíntota superior de 27.3 millones de hectáreas, que es el límite de tierras arables en el país estimado por la FAO. La cantidad de hectáreas de temporal pasaría, según esta tendencia, de 14 a 19.8 millones entre 2000 y 2030.

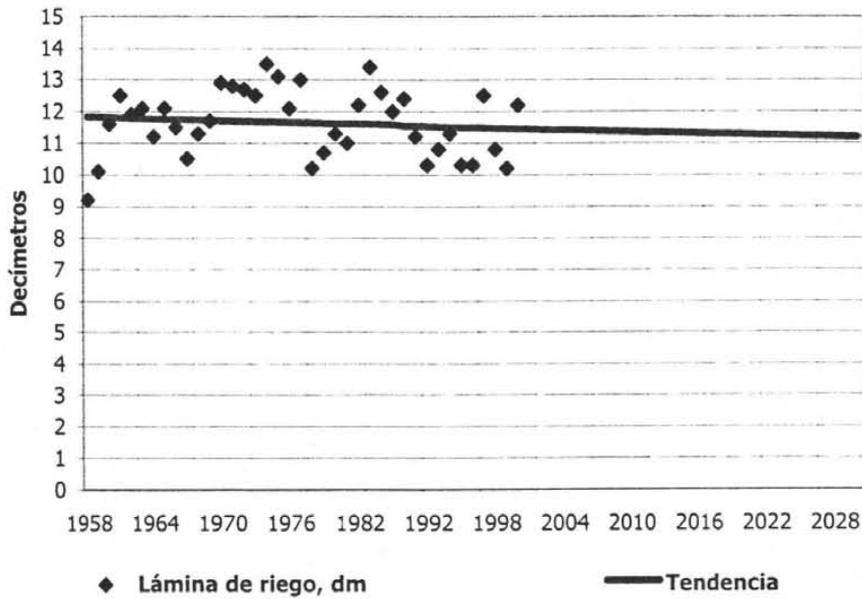


Fig 3.9. Lámina de riego. Tendencia 1958-2030

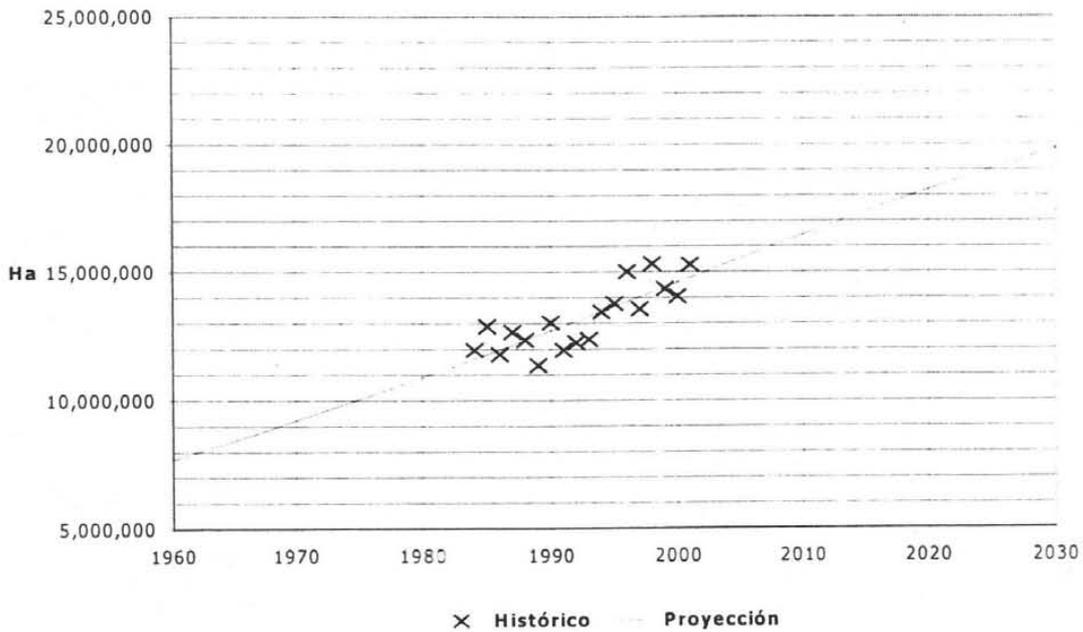


Fig. 3.10 Tendencia de la superficie de temporal

Sólo se consideran los rendimientos de los dos cultivos más importantes para el consumo alimenticio, cereales y forrajes (ver Figs. 3.11 y 3.12). Puede verse que, de acuerdo con los datos de 1980 a 2000, hay una clara tendencia al aumento de los rendimientos, tanto en las tierras de riego como en las de temporal (Tabla 3.11).

De cumplirse estas tendencias, la producción de cereales se multiplicaría por un factor de 1.5 entre 2000 y 2030, y la de forrajes aumentaría 1.7 veces.

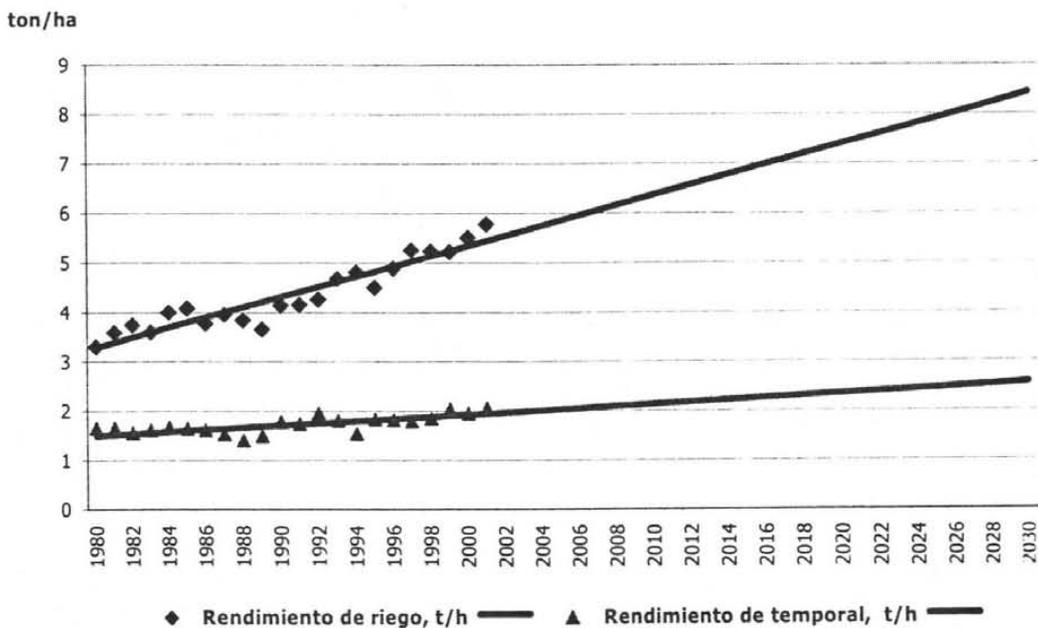


Fig. 3.11. Tendencias del rendimiento de cereales

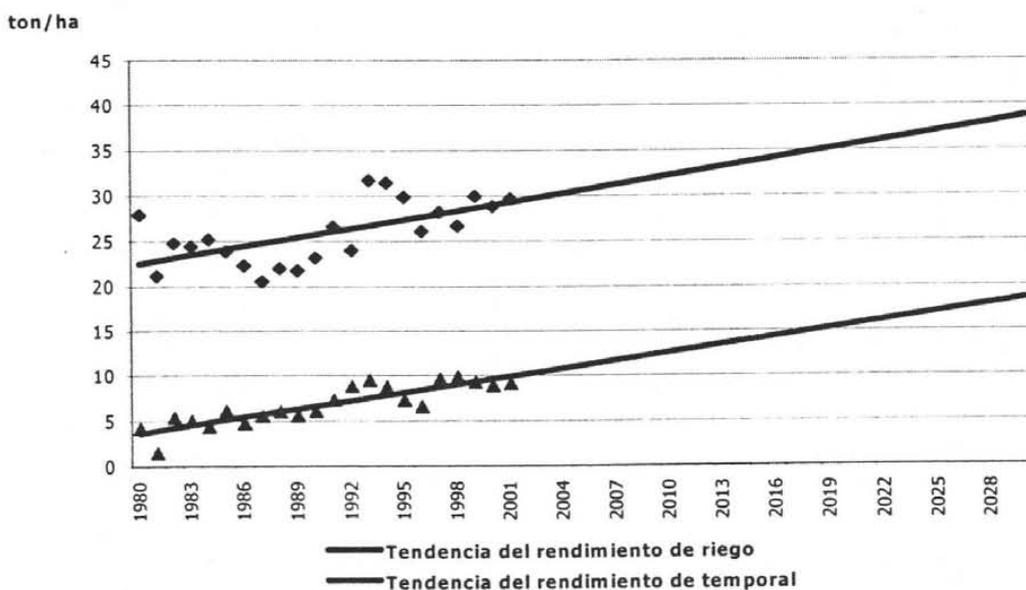


Fig. 3.12 Tendencias del rendimiento de forrajes

Tabla 3.11. Tendencias del rendimiento de cereales y forrajes

Años	En riego		En temporal	
	Rendimientos, ton/ha		Rendimientos, ton/ha	
	Cereales	Forrajes	Cereales	Forrajes
Datos históricos				
1980	3.31	27.92	1.65	4.18
1990	4.14	23.18	1.78	6.05
2000	5.51	28.85	1.95	8.87
Tendencias				
2010	6.37	32.22	2.13	12.59
2020	7.40	35.45	2.35	15.57
2030	8.43	38.67	2.56	18.56

Si se cumplieran las tendencias anteriores, para 2030 se darían los resultados siguientes:

- ◇ Se cosecharían 4.8 millones de hectáreas de riego y 19.8 millones de temporal.
- ◇ La demanda de cereales crecería más rápido que su producción, incrementándose notablemente la necesidad de importar esos productos. El volumen de las importaciones pasaría del equivalente a 55% de la producción nacional en 2000 a 90% en 2030. Eso, sin tener en cuenta que, como se ha visto antes, se observa una tendencia a modificar el patrón de cultivos en detrimento de los cereales.
- ◇ Con los forrajes se presentaría el mismo problema de insuficiencia para proveer a la creciente producción de carne en canal. Mientras ésta aumentaría más del doble entre 2000 y 2030, la de forrajes no mantendría el mismo paso, pues se multiplicaría por un factor de 1.7. En estos rubros, en 2030 se tendrían que importar forrajes por el equivalente a 24% de la producción nacional, o se tendría que importar el mismo porcentaje de carne en canal.

El escenario tendencial de la demanda de agua agropecuaria se construye mediante las siguientes hipótesis:

- ◇ Se incrementarán ligeramente la superficie actual bajo riego; 500,000 ha. Según lo previsto por la Subdirección General de Programación, CNA.¹⁸
- ◇ Se mantendrán las eficiencias en los distritos y unidades de riego.

En la tabla 3.12 se muestran los volúmenes futuros de extracción de agua, ya considerada la demanda de las actividades pecuarias.

¹⁸ El agua en México: retos y Avances, 2000, CNA; Estadísticas del agua en México, 2004, CNA.

Tabla 3.12. Escenario tendencial. Extracciones de agua futuras requeridas por las actividades agropecuarias

Año	Superficie de riego, hectáreas	Lámina de riego promedio, cm	Extracciones para la agricultura, millones de m ³	Producción de carne en canal, toneladas	Extracciones para uso pecuario específico, millones de m ³	Extracciones totales, millones de m ³
1981	5,170,145	121	56,448	2,767,675	986	57,434
1985	5,284,715	110	58,132	2,920,860	1,040	59,172
1990	4,943,443	124	61,299	2,682,494	956	62,254
1995	4,979,706	103	51,291	3,685,344	1,313	52,604
2000	4,679,720	120	56,210	4,359,457	1,553	57,810
2030	5,179,720	112	58,013	9,245,847	3,293	61,306

Con este escenario se obtiene en 2030 una extracción de agua muy parecida a la que se tuvo en 1990, pues el aumento del consumo en los usos pecuarios directos se compensa con la disminución de la lámina de riego. Sin embargo, como las variaciones anuales de ésta última y las de la superficie son tan acusadas, hay que tomar las proyecciones para un año específico como simples aproximaciones.

En las tablas 3.13 y 3.14 se presenta un resumen de los escenarios tendenciales 2030, para un crecimiento del PIB del 2.1% y 3.3% respectivamente.

Tabla 3.13. Escenario tendencial. Extracciones de agua futuras con un crecimiento del PIB del 2.1%

Región	Disponibilidad 2000	Extracciones hm ³ /año	Grado de presión en 2000, %	2030				
				Demanda total y grado de presión				
				Uso Público - Urbano	Uso Industrial	Uso Agrícola	Extracción Total	Grado de presión %
I	4,423	3,836	87	553	174	3,682	4,409	100
II	8,214	6,028	73	314	48	6,362	6,724	82
III	24,741	9,224	37	388	144	8,973	9,505	38
IV	28,909	7,730	27	1,083	662	6,652	8,397	29
V	33,177	1,557	5	391	398	1,278	2,067	6
VI	13,718	8,010	58	1,502	1,072	6,785	9,359	68
VII	6,836	4,172	61	407	212	4,014	4,633	68
VIII	39,680	14,514	37	2,180	2,018	11,937	16,135	41
IX	23,347	5,217	22	493	916	4,702	6,111	26
X	102,546	3,946	4	895	1,875	2,140	4,910	5
XI	157,999	1,841	1	657	324	1,275	2,256	1
XII	29,063	1,307	4	547	187	1,140	1,874	6
XIII	3,803	4,801	126	2,511	942	2,367	5,820	153
Suma	476,456	72,183	15	11,920	8,971	61,306	82,197	17

Tabla 3.13. Escenario tendencial. Extracciones de agua futuras con un crecimiento del PIB del 3.3%

Región	Disponibilidad 2000	Extracciones 2000 hm ³ /año	Grado de presión en 2000, %	2030				
				Demanda total y grado de presión				
				Uso Público - Urbano	Uso Industrial	Uso Agrícola	Extracción Total hm ³	Grado de presión %
I	4,423	3,836	87	589	246	3,682	4,518	102
II	8,214	6,028	73	336	69	6,362	6,767	82
III	24,741	9,224	37	418	205	8,973	9,595	39
IV	28,909	7,730	27	1,162	939	6,652	8,752	30
V	33,177	1,557	5	419	564	1,278	2,261	7
VI	13,718	8,010	58	1,597	1,522	6,785	9,904	72
VII	6,836	4,172	61	435	300	4,014	4,748	69
VIII	39,680	14,514	37	2,333	2,865	11,937	17,135	43
IX	23,347	5,217	22	529	1,300	4,702	6,530	28
X	102,546	3,946	4	963	2,662	2,140	5,765	6
XI	157,999	1,841	1	710	460	1,275	2,445	2
XII	29,063	1,307	4	582	266	1,140	1,988	7
XIII	3,803	4,801	126	2,672	1,337	2,367	6,376	168
Suma	476,456	72,183	15	12,744	12,738	61,306	86,788	18

De seguir con las tendencias en las regiones del Norte del país el incremento de población llevaría a un aumento en la demanda del agua provocando que su grado de presión, que actualmente en promedio es de 64%, aumente entre 10 y 15% dependiendo del crecimiento del PIB. En estas regiones habrá que implementar diferentes alternativas que conduzcan a una reducción del grado de presión y satisfacer las demandas futuras de agua, sin seguir sobreexplotando sus recursos. Algunas de estas alternativas serían:

Para la región Península de Baja California (I) y Noroeste (II)

- ◇ Desalinizar agua de mar
- ◇ Aumentar el reuso del agua
- ◇ Mejorar eficiencias en los distritos y unidades de riego, así como en uso público e industrial

Aunque en la región Noroeste (III) se puede seguir extrayendo más agua para satisfacer las demandas, se recomienda no hacerlo ya que en el año 2030 podría pasar de una presión media a una fuerte sobre sus recursos naturales, sobre todo en sus acuíferos, con un grado de presión actual del 50%, de los cuales 7 de los 13 que tiene ya se encuentran sobreexplotados, por lo que se recomienda seguir las mismas alternativas mencionadas para las regiones anteriores.

En las regiones del centro del país se presenta el problema de escasez de agua, el cual podría incrementarse, el grado de presión tendría un aumento de 5 a 6 % en las regiones Balsas (IV), C. Centrales del norte (VII) y Lerma Santiago (VIII), lo que agudiza aun más su problema de escasez, siendo esto más crítico en la región del Valle de México la cual tiene actualmente una sobreexplotación de su cuenca, con un aumento del 30 al 40% de su grado de presión que actualmente es de 126%, solamente el uso industrial aumenta su grado de presión entre 4% y 14%, lo que muestra que en esta región el desarrollo industrial está muy limitado por la disponibilidad de agua. Por lo que las alternativas a seguir para las regiones IV, VIII y XIII son:

- ◇ Aumentar el reuso del agua
- ◇ Mejorar eficiencias en los distritos y unidades de riego, así como en uso público e industrial
- ◇ Importar agua de cuencas vecinas

En la cuenca Santiago, perteneciente a la región VIII, se podría aumentar su capacidad de almacenamiento lo cual incrementaría la disponibilidad de agua en esta región y la posibilidad de compartir sus recursos a la región III. Las alternativas para esta región serían:

- ◇ Aumentar el reuso del agua
- ◇ Mejorar eficiencias en los distritos y unidades de riego, así como en uso público e industrial
- ◇ Aumentar capacidad de almacenamiento

En la región del Río Bravo (VI), el incremento en la demanda de agua tanto urbana como industrial agudizan su problema de escasez, aumentando su grado de presión de 57 a 72%. La sobreexplotación de sus recursos, principalmente de sus acuíferos y la lejanía con otras fuentes de abastecimiento no permiten que se satisfagan las demandas de agua por cuenca propia, por lo que se recomienda

- ◇ Aumentar el reuso del agua
- ◇ Mejorar eficiencias en los distritos y unidades de riego, así como en uso público e industrial

Las regiones del sur, en donde se alberga la mayor parte de la disponibilidad natural del país, no presentan problemas de escasez de agua, el grado de presión sobre sus recursos es de escaso a

moderado, pero es también en donde se presentan la mayoría de los desastres naturales ocasionados por las fuertes avenidas y la pobre capacidad para controlarlas, por lo que es necesario incrementar su capacidad de almacenamiento con la finalidad de controlar sus escurrimientos y aumentar de disponibilidad natural de otras cuencas ya sea al compartir sus recursos con grandes acueductos o absorbiendo el crecimiento de la población.

La región del Golfo Norte ejerce presión fuerte sobre sus acuíferos, actualmente del 85%, con un 60% de ellos sobreexplotado. De seguir con las tendencias la presión sobre sus acuíferos crecería un 4%, por lo que es necesario:

- ◇ Disminuir la extracción de agua subterránea
- ◇ Aumentar la capacidad de almacenamiento
- ◇ Mejorar la eficiencia de distribución en unidades y distritos de riego, así como en agua potable e industrial
- ◇ Absorber el crecimiento de la población
- ◇ Compartir sus recursos, como por ejemplo podría darle agua a las cuencas del río San Juan y la del Río Bajo Bravo pertenecientes a la región III

Las regiones Golfo Centro (X), Frontera Sur (XI) y Península de Yucatán (XII), se encuentran en equilibrio, es decir no tiene problemas de disponibilidad y ejercen una presión escasa sobre sus recursos, por lo tanto para estas regiones se encuentran las siguientes alternativas:

- ◇ Aumentar capacidad de almacenamiento en las regiones X y XI
- ◇ Aumentar la extracción de agua de pozos en la región XII
- ◇ Mejorar eficiencias en riego, agua potable e industrial
- ◇ Compartir sus recursos a otras cuencas
- ◇ Absorber el crecimiento de la población

3.2.5 Escenarios alternativos.

En los escenarios siguientes se proponen cambios a los trayectos de algunos elementos considerados en el tendencial a fin de mostrar otras posibles evoluciones de la demanda de agua.

Hipótesis:

- ◇ La eficiencia de distribución de agua potable es del 75%
- ◇ La eficiencia del uso del agua en las manufacturas mejorará 1% anualmente, como se está logrando actualmente en los países desarrollados, o 2% si se supone que el cambio será mayor en México porque los procesos industriales se modernizarán a partir de niveles de tecnología inferior.
- ◇ Se abre 1 millón de nuevas hectáreas con riego, según lo planeado por la Subdirección General de Programación, CNA¹⁷.
- ◇ Mejoras del 15% en la eficiencia de las conducciones y distribución del agua en los Distritos y Unidades de Riego

Si se invirtiera lo suficiente para que el servicio de agua potable funcionara con una eficiencia generalizada de 0.75, las extracciones en 2030 se reducirían a entre 9,500 y 10,200 millones de m³ anuales (Tabla 3.14). El ahorro anual potencial por aumentar la eficiencia a 0.75 sería de entre 2,400 y 2,600 millones de m³ anuales, suficientes para cubrir el crecimiento que tendrá la demanda industrial entre 2000 y 2030, y por cuyo uso se podrían recaudarse alrededor 15,000 millones de pesos anuales.

Por el aumento de la superficie de riego, las extracciones de agua para la irrigación y las actividades pecuarias llegaría a 56.8 miles de millones de m³ en 2030, ya considerando un mejoramiento de 15% en la eficiencia de las conducción y distribución del agua agrícola. La presión sobre el recurso hídrico no aumentaría o lo haría muy poco en las regiones menos dotadas del centro y norte del país.

En la tabla 3.14 se presentan los escenarios esperadas de seguir con las hipótesis anteriores y en las tablas 3.15 y 3.16 las extracciones y el grado de presión si el PIB creciera a una tasa del 2.1% y del 3.3% respectivamente y una mejora en la eficiencia del 1% anual en la industria.

Tabla 3.14. Escenarios de la demanda de agua, con incremento de eficiencias en los sistemas de abastecimiento

Regiones Administrativas	USO PÚBLICO-URBANO		USO INDUSTRIAL				USO AGROPECUARIO
	2.10%	3.30%	2.10%		3.30%		Aumento de 1 millón de ha de riego
	Con eficiencia del 75%	Con eficiencia del 75%	Si mejora la eficiencia 1% anual	Si mejora la eficiencia 2% anual	Si mejora la eficiencia 1% anual	Si mejora la eficiencia 2% anual	Con un incremento del 15% en eficiencia
I	442	472	128	95	182	134	3,368
II	251	269	36	26	51	37	5,646
III	311	334	107	79	152	112	7,865
IV	866	929	489	361	695	512	6,130
V	312	335	294	217	418	308	1,562
VI	1,201	1,278	793	585	1,126	830	6,006
VII	326	348	157	115	222	164	3,531
VIII	1,744	1,866	1,493	1,101	2,119	1,563	10,384
IX	394	423	677	500	962	709	4,710
X	716	770	1,387	1,023	1,969	1,452	2,533
XI	525	568	240	177	340	251	1,560
XII	438	466	139	102	197	145	1,445
XIII	2,009	2,137	697	514	989	730	2,131
Nacional	9,536	10,195	6,636	4,894	9,422	6,948	56,870

Tabla 3.15. Escenarios de la demanda de agua, con incremento de eficiencias en los sistemas de abastecimiento y con una tasa de crecimiento del PIB del 2.1%

Millones de m³

Regiones Administrativas	Grado de Presión % 2000	Disponibilidad natural	USO PÚBLICO-URBANO	USO INDUSTRIAL	USO AGROPECUARIO	EXTRACCIÓN TOTAL	Grado de Presión %
			2.10%	2.10%	Aumento de 1 millón de ha de riego		
			Con eficiencia del 75%	Si mejora la eficiencia 1% anual	Con un incremento del 15% en eficiencia		
I	83	4,423	442	128	3,368	3,938	89
II	68	8,214	251	36	5,646	5,933	72
III	37	24,741	311	107	7,865	8,282	33
IV	27	28,909	866	489	6,130	7,485	26
V	5	33,177	312	294	1,562	2,169	7
VI	57	13,718	1,201	793	6,006	8,000	58
VII	58	6,836	326	157	3,531	4,013	59
VIII	36	39,680	1,744	1,493	10,384	13,621	34
IX	22	23,347	394	677	4,710	5,781	25
X	4	102,546	716	1,387	2,533	4,636	5
XI	1	157,999	525	240	1,560	2,325	1
XII	5	26,063	438	139	1,445	2,021	8
XIII	126	3,803	2,009	697	2,131	4,837	127
Nacional	15	476,456	9,536	6,636	56,870	73,043	15

Tabla 3.16. Escenarios de la demanda de agua, con incremento de eficiencias en los sistemas de abastecimiento y con una tasa de crecimiento del PIB del 3.3%Millones de m³

Regiones Administrativas	Grado de Presión % 2000	Disponibilidad natural	USO PÚBLICO-URBANO	USO INDUSTRIAL	USO AGROPECUARIO	Extracción Total	Grado de Presión %
			3.30%	3.30%	Aumento de 1 millón de ha de riego		
			Con eficiencia del 75%	Si mejora la eficiencia 1% anual	Con un incremento del 15% en eficiencia		
I	83	4,423	472	182	3,368	4,021	91
II	68	8,214	269	51	5,646	5,966	73
III	37	24,741	334	152	7,865	8,351	34
IV	27	28,909	929	695	6,130	7,754	27
V	5	33,177	335	418	1,562	2,316	7
VI	57	13,718	1,278	1,126	6,006	8,409	61
VII	58	6,836	348	222	3,531	4,100	60
VIII	36	39,680	1,866	2,119	10,384	14,370	36
IX	22	23,347	423	962	4,710	6,095	26
X	4	102,546	770	1,969	2,533	5,272	5
XI	1	157,999	568	340	1,560	2,468	2
XII	5	26,063	466	197	1,445	2,107	8
XIII	126	3,803	2,137	989	2,131	5,257	138
Nacional	15	476,456	10,195	9,422	56,870	76,487	16

Según puede verse en las tablas, en Pacífico Norte el grado de presión sobre sus recursos hídricos disminuiría debido a que la mayor eficiencia hidroagrícola sería suficiente para cubrir el crecimiento de las demandas municipal e industrial. Sin embargo, en ésta región habrá que diseñar otra clase de acciones que conduzcan a una reducción mayor del grado de presión.

En las regiones Península de Baja California, Noroeste, Cuencas Centrales del Norte y Río Bravo el aumento de la eficiencia en el uso del agua agrícola no sería suficiente para satisfacer el incremento en las demandas municipales e industriales, el grado de presión aumentaría. La viabilidad de esta región requerirá lograr mayores eficiencias en los sistemas de abastecimiento municipal e industrial, posiblemente mayores que los supuestos en los escenarios, a fin de que la presión sobre el recurso disminuya a niveles más racionales.

Lerma-Santiago es otra región en la que la presión sobre el recurso puede llegar a niveles riesgosos, pues en el caso de un desarrollo económico alto el grado de presión se ubicaría en la franja de presión fuerte, aumento causado principalmente por el desarrollo de la industria, que crecería 3.5 veces en los próximos 30 años. Como en las regiones del norte, en esta se ve imprescindible lograr mejores eficiencias en las redes de abastecimiento y los procesos industriales.

En Golfo Norte, como la industria se multiplicaría también por un factor de 3.6 y la población por 1.9, el aumento de la eficiencia en el uso agrícola no alcanzaría para cubrir las otras demandas por lo que el grado de presión aumentaría 4 puntos en el caso de un desarrollo del PIB alto.

En el caso de un desarrollo económico alto, la región Valle de México se encontraría en una situación sumamente grave, pues como el posible ahorro del agua agrícola no es significativo, el aumento de la población y de la actividad industrial llevaría el grado de presión a 138%. En el caso de un crecimiento modesto del producto interno y de mejoramiento de las eficiencias en las redes de abastecimiento y del uso industrial, el grado de presión aumentaría 1% el valor actual de 126%. Por otra parte, dado que la importación de agua de otras regiones encuentra obstáculos crecientes, se tendrían que definir programas especiales de manejo del agua, como el reuso del agua tratada y la elevación del precio a los usuarios.

Las regiones Pacífico Sur, Golfo Centro, Frontera Sur y Península de Yucatán aumentarían su grado de presión entre 1 y 3 puntos por el supuesto aumento en las superficies de riego.

Para hacer frente a la demanda futura se tendría que aumentar el rendimiento de los cultivos y de la producción de carne más que lo que señalan las tendencias históricas, promoviendo un esfuerzo que logre 15% más en el rendimiento de la superficie de riego que el indicado por las tendencias y 30% más sobre las tendencias en las tierras de temporal. Las metas de rendimiento de la producción de cereales en 2030 serían de 9.7 t/ha en riego, parecido al que indican las tendencias de la agricultura egipcia, y de 3.3 t/ha en temporal, que es del orden de lo que se obtiene en algunos países de clima tropical. Se llegaría así a un rendimiento combinado de riego y temporal de 4.9 toneladas por hectárea. Los mismos supuestos de rendimiento se hacen para la producción de forrajes, cuyo rendimiento combinado de riego y temporal llegaría a 28.9 t/h.

En el caso que el PIB por habitante se duplicara, la demanda de cereales crecería 2.3 veces entre 2000 y 2030, mientras que la producción lo haría 1.7 veces. Consecuentemente, las importaciones tendrían que llegar en 2030 a 34 millones de toneladas, cifra equivalente a 91% de la producción nacional. De la misma manera, por el aumento de la demanda, en 2030 habría que importar un poco más de carne en canal que lo que se hizo en 2000, alrededor de 11% de la producción nacional. En cambio, bajo estas condiciones, se importarían menos forrajes, pues los incrementos en el rendimiento por hectárea permitirían satisfacer en más alto grado la producción de carne local.

Se abrirían nuevas tierras al cultivo, suficientes para satisfacer mejor la demanda interna y reducir la dependencia en las importaciones. Con esta estrategia, paulatinamente se crean 3 millones de hectáreas de riego y 600 mil de temporal para el cultivo de cereales, y se abrirían 450 mil de riego

y 150 mil de temporal para la producción de forrajes. El total de la superficie cosechada, sumando las de riego y las de temporal, llegaría en 2030 a 24.1 millones de hectáreas cosechadas o 63% de los que se considera el límite de la superficie arable en el país.

Con estas estrategias se lograría un rendimiento en cereales de 5.9 toneladas por hectárea, casi igual al que tienen los países desarrollados del Asia. En el caso de que el PIB creciera 3.3% anual, se reduciría la necesidad de importaciones de cereales a sólo 4% de la producción propia, a 11% de la de carne y a 9% de la de forrajes, las tres cifras notablemente inferiores a las de 2000.

Por el aumento de la superficie de riego, las extracciones de agua para la irrigación y las actividades pecuarias llegaría a 83.4 miles de millones de m³ en 2030, ya considerando un mejoramiento de 15% en la eficiencia de las conducción y distribución del agua agrícola. Si las nuevas tierras irrigadas se crearan en las regiones con mayor disponibilidad de agua (Pacífico Sur, Golfo Centro, Frontera Sur y Península de Yucatán), la presión sobre el recurso hídrico no aumentaría en las regiones menos dotadas del centro y norte del país.

COMENTARIOS

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

- ◇ En el sureste se alberga el 70% de la disponibilidad natural, las más bajas se encuentran en las regiones del norte, noroeste y centro del país, en donde se asienta el 77% de la población y se genera el 85% del PIB. Casi el 40% del incremento de la población entre 1970 y 2000 fue absorbido por las regiones Valle de México, Lerma-Santiago, Río Bravo y Balsas, las tres con grados de presión altos en sus recursos hídricos.

Siete de las trece regiones; Lerma Santiago, Valle de México, Río Bravo, Balsas, Frontera Sur, Península de Baja California y Península de Yucatán, absorberán 83% del crecimiento de 29 millones esperado en los próximos 30 años, cuatro de las cuales actualmente presentan severos problemas de disponibilidad de agua.

- ◇ La agricultura de riego utiliza el 77% del agua extraída en el país, los métodos aplicados son tradicionales en más del 80% de la superficie y la eficiencia se estima en 46%. En el horizonte de 30 años, el incremento de las extracciones de agua se deberá más al aumento de la demanda de alimentos, que directamente al crecimiento de la población. De ahí, la importancia de reducir las láminas brutas de riego mediante acciones que mejoren la eficiencia de las instalaciones hidroagrícolas y de las prácticas de aplicación del riego.

Las extracciones de agua para la irrigación y las actividades pecuarias llegarían a 56.8 miles de millones de m³ en 2030, ya considerando un mejoramiento de 15% en la eficiencia de las conducción y distribución del agua agrícola. La presión sobre el recurso

hídrico no aumentaría o lo haría muy poco en las regiones menos dotadas del centro y norte del país.

- ◇ Si no mejoran las eficiencias de las redes de abastecimiento, las demandas municipales pasarán de 8,291 a entre 11,900 y 12,700 millones de m³, dependiendo del crecimiento del PIB. Si se invirtiera lo suficiente para que el servicio de agua potable funcionara con una eficiencia generalizada de 0.75, las extracciones en 2030 se reducirían a entre 9,500 y 10,200 millones de m³ anuales. El ahorro anual potencial por aumentar la eficiencia a 0.75 sería de entre 2,400 y 2,600 millones de m³ anuales, suficientes para cubrir el crecimiento que tendrá la demanda industrial entre 2000 y 2030, y por cuyo uso podrían recaudarse alrededor 15,000 millones de pesos anuales.
- ◇ La demanda de agua industrial podría aumentar, entre 2000 y 2030, de 6,129 a entre 9,000 y 12,700 millones de m³ en el escenario tendencial y conservando eficiencias. Mejorando en 30% si se aumentara su eficiencias.

Las proyecciones indican que sólo por el consumo industrial, si no aumenta la eficiencia en el uso del agua, la presión sobre los recursos hídricos del país se incrementaría entre 0.4% y 1.2%, dependiendo de la tasa de crecimiento del PIB. Pero hay regiones en las que el aumento de la demanda industrial podría derivar en problemas graves de abastecimiento por el incremento a que daría lugar en el grado de presión. En la región Valle de México el uso industrial del agua haría que el grado de presión, que en 2000 fue de 126%, aumentara entre 4% y 14%, mostrando que en esta región el desarrollo industrial está limitado por la disponibilidad de agua.

- ◇ En las regiones Península de Baja California, Noroeste, Cuencas Centrales del Norte y Río Bravo el aumento de las eficiencias en el uso agrícola, industrial y público, aquí supuestas no sería suficiente. Estas regiones requerirá lograr mayores eficiencias en los sistemas de abastecimiento municipal e industrial, a fin de que la presión sobre el recurso disminuya a niveles más racionales.

Lerma es otra región en la que la presión sobre el recurso puede llegar a niveles riesgosos, pues en el caso de un desarrollo económico alto el grado de presión se ubicaría en la franja de presión fuerte, aumento causado principalmente por el desarrollo de la industria, que crecería 3.5 veces en los próximos 30 años. Como en las regiones del norte, en esta se ve imprescindible lograr mejores eficiencias en las redes de abastecimiento y los procesos industriales.

En Golfo Norte, como la industria se multiplicaría también por un factor de 3.6 y la población por 1.9, el aumento de la eficiencia en el uso agrícola no alcanzaría para cubrir

las otras demandas por lo que el grado de presión aumentaría 4 puntos en el caso de un desarrollo del PIB alto.

En el caso de un desarrollo económico alto, la región Valle de México se encontraría en una situación sumamente grave, pues como el posible ahorro del agua agrícola no es significativo, el aumento de la población y de la actividad industrial llevaría el grado de presión a 138%. En el caso de un crecimiento modesto del producto interno y de mejoramiento de las eficiencias en las redes de abastecimiento y del uso industrial, el grado de presión aumentaría 1% el valor actual de 126%. Por otra parte, dado que la importación de agua de otras regiones encuentra obstáculos crecientes, se tendrían que definir programas especiales de manejo del agua, como el reuso del agua tratada.

- ◇ La apertura de nuevas superficies de riego deberá orientarse a las regiones que tienen más disponibilidad de agua y, al mismo tiempo, será necesario tener más control de las extracciones en los ríos que se encuentran en situación crítica como el Lerma, Aguanaval, San Juan, Conchos, Salado, Bravo y Fuerte.
- ◇ La sobreexplotación de acuíferos es alarmante, en todas las regiones del norte, Lerma Santiago y del Valle de México. Los volúmenes extraídos oscilan entre 120 y 448% de la recarga natural. En algunos de los acuíferos del norte, donde las extracciones son mayores que la recarga, es muy importante que los usuarios y las autoridades ejerzan control de los volúmenes extraídos, y se hagan estudios que se pongan en práctica, para conocer los límites permisibles del abatimiento de los niveles para determinar la duración del acuífero antes de que se dañen de forma irreversible. En algunos de estos casos se ha observado que el mercado del agua favorece el bombeo, más que regularlo.
- ◇ Sólo se da tratamiento a 15% de las aguas residuales, alrededor de 12000 millones de m³ de agua contaminada son descargados anualmente a los cuerpos de agua. Como las descargas municipales podrían multiplicarse por un factor de 1.4, el problema de la contaminación de cauces empeorará de no elevar significativamente el tratamiento de las aguas residuales.
- ◇ Para lograr un manejo adecuado del agua se tienen que realizar y llevar a la práctica estudios que permitan definir la mejor asignación del recurso agua. Los retos tecnológicos de nuestro país para dicho manejo, se pueden agrupar en cuatro áreas:
 - Disponibilidad de suficiente agua
 - Calidad del agua
 - Prevención de desastres de origen hidrometeorológico

- Producción hidroeléctrica

Es factible aumentar la disponibilidad de agua; algunas alternativas para ello son: incrementar la capacidad de almacenamiento y de conducción, eficientar las prácticas de riego, aumentar la eficiencia en las redes de distribución de agua potable, importar agua de cuencas vecinas, aumentar el reuso del agua y desalinizar agua de mar.

- ◇ Estudios recientes indican pérdidas económicas durante 1980-1998 en promedio de 4,500 millones de pesos anuales, las mayores están asociadas a la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos. En las regiones del Sur se presentan la mayoría de los desastres naturales ocasionados por las fuertes avenidas y la pobre capacidad para controlarlas.

La capacidad de almacenamiento de las presas del país es tan solo el 38% del escurrimiento superficial anual. El 43% de la capacidad total de almacenamiento se encuentra en el norte, solo el 30% en el sur.

- ◇ El grado de presión es un indicador internacional que permite estimar problemas globales pero no permite visualizar el aumento en la disponibilidad por el crecimiento en la infraestructura hidráulica, ya que su cálculo se obtiene con disponibilidad natural. Es decir no toma en cuenta que no es lo mismo para regiones con poca infraestructura de almacenamiento y conducción que para regiones con mucha infraestructura. Por lo que sería interesante medir dicho parámetro.

REFERENCIAS

Alonso, Antonio, G. Mejía, *Una prospectiva del sector alimentario mexicano y sus implicaciones para la ciencia y la tecnología*, CONACYT, 1988, México, D.F. México.

Aparicio, F.J., et al, comp, *XVI Congreso Nacional de Hidráulica*, IMTA, 2000, México.

Avila, Patricia, ed. *Agua, cultura y sociedad en México*, El Colegio de Michoacán, 2002, México.

Barocio, Rubén, *Apuntes sobre el uso sustentable del agua en México*, mimeo, Academia de Ingeniería, AC, 2002, México.

Capel, José Jaime y JM Castillo, *El clima de los Estados Unidos Mexicanos*, Instituto de Geografía Aplicada, 1984, Almería, España.

Carrasco, Pedro, *Meteorología*, Fondo de Cultura Económica, México, D.F., México

Comisión del Plan Nacional Hidráulico, *Plan Nacional Hidráulico 1981*, México.

CNA, *Características de los distritos de riego, año agrícola 1990*, CNA, México.

CNA, *Compendio básico del agua en México 2001*, CNA, México.

CNA, *El agua en México: retos y avances*, CNA, mimeo, 2002, México.

CNA, *Escenarios a largo plazo del papel del agua en la economía a través de los usos en la industria, generación de energía eléctrica y otros usos*, Seinpro, s/f, México.

CNA, *Escenarios del uso del agua potable y cuidado de la salud en zonas urbanas y rurales*, México.

CNA, *Estadísticas del agua en México*, CNA, 2003, México.

CNA, *Estadísticas del agua en México*, CNA, 2004, México

CNA, *Integración de escenarios a largo plazo de los usos del agua*, Gerencia de Estudios para el Desarrollo Hidráulico Integral, CNA, México.

CNA, *Los escenarios a largo plazo del papel del agua en la producción de alimentos*, Subdirección General de Programación, Gerencia de estudios para el Desarrollo Hidráulico Integral, CNA, México.

CNA, *Programa hidráulico de gran visión 2001-2020 de la Región VII Cuencas Centrales del Norte*, mimeo, S/F, Desisa-Sitepsa, México.

CNA, *Sistemas de información geográfica del agua*, (SIGA), CNA, México.

CNA, *Sistema de consulta de datos climatológicos* (SICLIM V1.01), 2000, IMTA, CNA, México.

CNA, *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento*, CNA, 1993, México.

CNA, *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento*, CNA, 1999, México.

Estudio de la disponibilidad de agua en México en función del uso, calidad y cantidad, Instituto de Ingeniería, UNAM, Julio 2000, México.

Estudio de factibilidad del saneamiento del Valle de México (Actualización), CNA, Instituto de Ingeniería, UNAM, Junio 2000, México.

Fundación Gonzalo Río Arronte-Fundación Javier Barros Sierra, *Prospectiva de la demanda de agua en México, 2000-2030*. México, 2004.

FAO, *Land resource potential and constraints at regional and country levels*, FAO, 2000, Roma, Italia.

FAO, *World agriculture: towards 2015/2030*, Farthscan, 2003, Londres.

FAO, *World agriculture towards 2015/2030*, Summary report, FAO, 2002, Roma Italia.

FAO, *World agriculture towards 2010*, John Wiley and sous, Chichester, Inglaterra.

Hernández, Mengracia, R. Vidal, E. García, *Situaciones de tiempo en el noroeste de México*, Investigaciones Geográficas 39, Instituto de Geografía, UNAM, 1999, México.

IMTA, *Perspectiva del uso y disponibilidad del agua al año 2020 y acciones tendientes para lograr un balance entre la oferta y la demanda del recurso a través del desarrollo tecnológico*, mimeo, IMTA, 1999, México.

IMTA, *Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS)*, 1999, IMTA, CNA, México.

IMTA, *Extracción rápida de información climatológica*, Versión II (ERIC II), IMTA, México.

INEGI, *I Curso de captación, tratamiento y suministro de agua*, INEGI, 1999, México.

INEGI, *Censo general de población y vivienda, 1950*, INEGI, México.

INEGI, *Censo general de población y vivienda, 1960*, INEGI, México.

INEGI, *Censo general de población y vivienda, 1970*, INEGI, México.

INEGI, *Censo general de población y vivienda, 1980*, INEGI, México.

INEGI, *Censo general de población y vivienda, 1990*, INEGI, México.

INEGI, *Censo general de población y vivienda, 2000*, INEGI, México.

INEGI, *Censo general de población y vivienda, 1950*, INEGI, México.

INEGI, *XIII Censo Industrial, 1989*, INEGI, México.

INEGI, *X Censo Comercial, 1989*, INEGI, México.

INEGI, *X Censo de Servicios, 1989*, INEGI, México.

INEGI, *XI Censo de Transporte y Comunicaciones, 1989*, INEGI, México.

- INEGI, *XVI Censo Industrial, 1994*, INEGI, México.
- INEGI, *XI Censo Comercial, 1994*, INEGI, México.
- INEGI, *XI Censo de Servicios, 1994*, INEGI, México.
- INEGI, *XII Censo de Transporte y Comunicaciones, 1994*, INEGI, México.
- INEGI, *XV Censo Industrial, 1999*, INEGI, México.
- INEGI, *XII Censo Comercial, 1999*, INEGI, México.
- INEGI, *XII Censo de Servicios, 1999*, INEGI, México.
- INEGI, *XIII Censo de Transporte y Comunicaciones, 1999*, INEGI, México.
- INEGI, *IV Censo de Pesca, 1999*, INEGI, México.
- INEGI, *I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, 1999*, INEGI, México.
- INEGI y el Colegio de Posgraduados, *El recurso tierra en las unidades de producción rurales*, INEGI, 1994, Aguascalientes, México.
- INEGI y el Colegio de Posgraduados, *Las unidades de producción rurales*, INEGI, 1994, Aguascalientes, México.
- Melo, Carlos, R. Trejo, *La presencia del monzón en el noroeste de México*, Investigaciones Geográficas 28, Instituto de Geografía, UNAM, 1994, México.
- PNUMA, *Perspectivas del medio ambiente mundial*, Mundi-prensa, 2000, Madrid España.
- SARH, *Estimación de la producción agrícola en los distritos y las unidades de riego*, SARH, 1980, México.
- SARH, *Estadísticas agrícolas de los distritos y unidades de riego*, SARH, México.
- SARH, *Características de los distritos de riego y unidades de riego*, SARH, México.
- SARH, *Superficies regadas y volúmenes de agua distribuidos en los distritos de riego*, SARH, México.
- SEMARNAP, *El agua en México: retos y avances 2000*, CNA, SEMARNAP, México.
- SEMARNAT, *Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de 188 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, los resultados de los estudios realizados para determinar su disponibilidad media de agua y sus planos de localización*, Diario Oficial, (segunda sección), Viernes 31 de enero de 2003, México.
- SEMARNAT, *Programa Nacional Hidráulico 2001-2006, Compendio básico del agua en México 2001*, CNA, PND, SEMARNAT, México.
- SINHDR, *Sistema de información hidroagrícola de distritos de riego*, SINHDR, México.
- SPP, *Frontera agrícola*, Secretaría de Programación y Presupuesto, 1980, México.

SRH, *Presas construidas en México 1976*, SRH, México.

Velasco, Hugo, *Las zonas áridas y semiáridas*, Limusa, 1991, México, D.F.

ANEXO 1

RAMAS MANUFACTURERAS DE ALTO CONSUMO DE AGUA

- 3111 Industria de la carne.
- 3112 Elaboración de productos lácteos.
- 3113 Elaboración de conservas alimenticias.
- 3114 Beneficio y molienda de cereales y otros productos agrícolas.
- 3115 Elaboración de productos de panadería.
- 3116 Molienda de nixtamal y fabricación de tortillas.
- 3117 Fabricación de aceites y grasas comestibles.
- 3119 Fabricación de cocoa, chocolate y artículos de confitería.
- 3121 Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano
- 3118 Industria azucarera.
- 3130 Industria de las bebidas.
- 3211 Industria textil de fibras duras y cordelería de todo tipo.
- 3212 Hilado, tejido y acabado de fibras blandas.
- 3410 Manufactura de celulosa, papel y sus productos.
- 3512 Fabricación de sustancias químicas básicas. Excluye las petroquímicas básicas.
- 3522 Fabricación de otras sustancias y productos químicos.
- 3530 Industria de refinación de petróleo.
- 3611 Alfarería y cerámica. Excluye materiales de construcción.
- 3612 Fabricación de materiales de arcilla para la construcción.
- 3691 Fabricación de cemento, cal, yeso y otros productos a base de minerales no metálicos.
- 3710 Industria básica del hierro y del acero.
- 3831 Fabricación y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos. Incluso para la generación de energía eléctrica.

ANEXO 2

ESTIMACIÓN DEL PIB POR REGIÓN ADMINISTRATIVA

La desagregación geográfica máxima oficial del Producto Interno Bruto (PIB) nacional es por entidad federativa. Este desglose se ha realizado sólo para ciertos años y con alcances diferentes.

Los primeros PIB estatales corresponden a 1970 y se detallan hasta ramas de actividad económica. En el Banco de Información Económica del INEGI están datos quinquenales de los PIB estatales de 1970 a 1985 hasta el nivel de ramas económicas. También existe información de los PIB estatales con este mismo nivel de detalle para el año 1988, en el *Sistema de Cuentas Nacionales; Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 1993*, publicado por INEGI.

Los siguientes PIB estatales corresponden a 1993, pero con menor detalle, únicamente a nivel de grandes divisiones y divisiones industriales manufactureras. En el Banco de Información Económica del INEGI están disponibles los PIB estatales anualizados de 1993 al 2000.

Las regiones administrativas de la CNA están conformadas por conjuntos de municipios, que por lo general no incluyen a los estados completos. La estimación de los PIB regionales requiere de algún criterio para distribuir los PIB estatales según datos municipales relevantes.

Para calcular exclusivamente los PIB totales regionales, podría partirse de los PIB per cápita estatales y ponderarlos de acuerdo con las proporciones poblacionales municipales correspondientes a cada región administrativa. Existen datos de poblaciones municipales en los Censos de Población, que se realizan cada diez años, y en el Conteo de Población de 1995.

Este procedimiento de distribución a partir de la población municipal ya no resulta tan apropiado cuando interesa estimar los PIB regionales por tipo de actividad económica. El PIB del sector agropecuario o el industrial debe distribuirse entre los municipios que se dedican a estas actividades y no entre todos sin considerar su vocación. Los Censos de Población proporcionan información municipal de la PEA (población económicamente activa) por tipos de actividad económica, hasta un nivel similar al de las grandes divisiones de las Cuentas Nacionales. Con esta información pueden distribuirse mejor los PIB estatales en regionales por tipo de actividad económica, de acuerdo con las productividades municipales específicas, es decir, con los PIB entre las PEA de cada actividad económica.

Los PIB regionales por tipo de actividad económica se calcularon para 1970, 1980, 1988 y 2000, de acuerdo con la información estatal y municipal disponible. En el caso de 1988 se supuso que la distribución municipal de la PEA del Censo de 1990 fue similar a la de dos años antes.

Para las conversiones estatales a regionales se construyeron 24 matrices con proporciones de PEA municipales. Las actividades económicas se agruparon en 6 categorías: agropecuarias, minería, industria manufacturera, construcción, electricidad y agua, y servicios. Se calcularon las matrices 1970, 1980, 1988 y 2000 para cada una de estas seis agrupaciones económicas, utilizando las PEA municipales de los Censos de Población. Cada matriz consta de 416 elementos producto de las interrelaciones entre las 32 entidades federativas y las 13 regiones administrativas, y cada elemento representa el porcentaje de las PEA municipales de cada estado que geográficamente corresponde a una región determinada. Los PIB regionales se obtienen multiplicando cada una de estas matrices por los vectores de los PIB estatales correspondientes.

Las ramas manufactureras que consumen más agua se identificaron a partir de las siguientes fuentes:

- *Parámetros de consumo de agua en la industria.* CNA e IMTA. México, 1998.
- *Indicadores industriales en el uso del agua.* CNA e IMTA. México, 1999.
- *Censos Económicos 1994; Industria manufacturera; Materias primas y productos.* INEGI.
- *Censos Económicos 1999; Industrias manufactureras; Productos y materias primas.* INEGI.

Se definieron como ramas de alto consumo de agua todas aquellas que fueron mencionadas por alguna de estas cuatro referencias. De este análisis resultaron 24 ramas de alto consumo según la clasificación de los PIB de 1970 a 1988, o 22 de las correspondientes al 2000.

La distribución de los PIB de las industrias manufactureras con alto y bajo consumo de agua se realizó de la siguiente manera:

- 1970, 1980 y 1988: se agruparon los PIB estatales de las ramas manufactureras con alto y bajo consumo de agua y éstos se distribuyeron en regiones administrativas empleando las matrices de las PEA municipales de la industria manufacturera.
- 2000: se agruparon los valores de la producción bruta estatal de las ramas manufactureras con alto y bajo consumo de agua en divisiones industriales manufactureras utilizando los datos estatales del Censo Económico 1998 de INEGI, se estimaron las proporciones

estatales respectivas, se multiplicaron estos porcentajes por los PIB estatales 2000 de las divisiones industriales manufactureras y se aplicó la matriz de la PEA municipal manufacturera del Censo del 2000.

ANEXO 3

Sistema de información SINFA

Presentación

El SINFA es un banco de datos demográficos, sociales, económicos e hidrológicos, organizados según las 37 regiones hidrológicas y las 13 regiones administrativas en que la Comisión Nacional del Agua ha dividido al país.

Como la información está geográficamente referenciada, se analiza y recupera mediante el programa ArcView, el cual permite: construir mapas con las combinaciones deseadas de variables e indicadores, relacionar tablas de datos, y crear gráficos y esquemas para presentar la información contenida en tablas y vistas gráficas. Si no se llegará a contar con Arcview, el sistema de información se pueden visualizar con el programa Arcexplorer.

En el disco compacto anexo se encuentra: el sistema de información y el programa Arcexplorer2.0 junto con su instructivo de instalación y manejo del mismo. Se anexa el archivo Metadatos.doc en donde se hace una descripción detallada de las variables que conforman la base de datos del SINFA.

Fuentes de información

Las fuentes de información que conforman el banco de datos del sistema SINFA son las siguientes:

Características de los distritos de riego y unidades de riego. SARH

Características de los distritos de riego, año agrícola 1990. CNA

Censo general de población y vivienda, 1950. INEGI

Censo general de población y vivienda, 1960. INEGI

Censo general de población y vivienda, 1970. INEGI

Censo general de población y vivienda, 1980. INEGI

Censo general de población y vivienda, 1990. INEGI

Censo general de población y vivienda, 2000. INEGI

Censo general de población y vivienda, 1950. INEGI

Compendio Básico del Agua en México 2001. CNA

XIII Censo Industrial, 1989. INEGI

X Censo Comercial, 1989. INEGI

X Censo de Servicios, 1989. INEGI

XI Censo de Transporte y Comunicaciones, 1989. INEGI

XVI Censo Industrial, 1994. INEGI

XI Censo Comercial, 1994. INEGI

XI Censo de Servicios, 1994. INEGI

XII Censo de Transporte y Comunicaciones, 1994. INEGI

XV Censo Industrial, 1999. INEGI

XII Censo Comercial, 1999. INEGI

XII Censo de Servicios, 1999. INEGI

XIII Censo de Transporte y Comunicaciones, 1999. INEGI

IV Censo de Pesca, 1999. INEGI

I Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua, 1999. INEGI

Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS), 1999. IMTA, CNA

El agua en México: retos y avances 2000. CNA, SEMARNAP

Estadísticas agrícolas de los distritos y unidades de riego. SARH

Extracción Rápida de Información Climatológica, Versión II (ERIC II). IMTA

Presas construidas en México 1976. SRH

Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. Compendio Básico del agua en México 2001. CNA, PND, SEMARNAT

Sistemas de Información Geográfica del Agua (SIGA). CNA

Sistema de Consulta de datos Climatológicos (SICLIM V1.01), 2000. IMTA, CNA

Superficies regadas y volúmenes de agua distribuidos en los distritos de riego. SARH

Contenido del SINFA

A continuación se presenta una breve descripción de las variables e indicadores, cuyos datos pueden desplegarse, analizarse y graficarse en Arcview.

Regionalización

Regiones administrativas

Regiones hidrológicas

Subregiones hidrológicas

Mesorregiones

Estados

Municipios 2000

Localidades 2000

Poblaciones históricas 1950 – 2000 de: Municipios

Estados

Regiones administrativas

Regiones hidrológicas

Tendencias de población 2010 (CONAPO), 2020, 2025 y 2030 de:

Regiones administrativas

Regiones hidrológicas

Censo nacional de población, 1990 y 2000

(regiones hidrológicas y administrativas)

PEA

Población urbana y rural

Vivienda

Censo económico industrial de los años 1988, 1993 y 1998

Regiones administrativas

Regiones hidrológicas

Características fisiográficas

Área de las cuencas hidrológicas

Clima

Geología

Uso de suelo

Vegetación

Distritos de riego. Información histórica (1958- 2000)

Información histórica de superficie dominable y regable

Superficie regada

Volumen total distribuido

Lámina bruta (media) utilizada

Superficie sembrada

Superficie cosechada

Información por zonas de lluvia, de riego y temporal de la superficie cosechada, rendimiento del maíz y sorgo

Hidrología

Ríos

Cuerpos de agua

Acuíferos

Estaciones hidrométricas

Estaciones climatológicas

Lluvia media, por región (hidrológica y administrativa)

Isoyetas

Escurrecimientos históricos anuales por región (1950-2000)

Recarga media anual de acuíferos, por región administrativa (1950- 2000)

Extracciones por fuente y uso para las regiones administrativas (1999 y 2000)

Disponibilidad natural por regiones administrativas (1950-2000)

Balance hidrológico de las regiones administrativas, de los años 1999 y 2000.