

Mexico City's Water Supply: Improving the Outlook for Sustainability

The Joint Academies Committee on the Mexico City Water Supply, Commission on Geosciences, Environment, and Resources, National Research Council, Academia Nacional de la Investigacion Cientifica, A.C., Academia Nacional de Ingenieria, A.C.

ISBN: 0-309-58794-8, 256 pages, 6 x 9, (1995)

This PDF is available from the National Academies Press at:
<http://www.nap.edu/catalog/4937.html>

Visit the [National Academies Press](http://www.nap.edu) online, the authoritative source for all books from the [National Academy of Sciences](http://www.nap.edu), the [National Academy of Engineering](http://www.nap.edu), the [Institute of Medicine](http://www.nap.edu), and the [National Research Council](http://www.nap.edu):

- Download hundreds of free books in PDF
- Read thousands of books online for free
- Explore our innovative research tools – try the “[Research Dashboard](#)” now!
- [Sign up](#) to be notified when new books are published
- Purchase printed books and selected PDF files

Thank you for downloading this PDF. If you have comments, questions or just want more information about the books published by the National Academies Press, you may contact our customer service department toll-free at 888-624-8373, [visit us online](#), or send an email to feedback@nap.edu.

This book plus thousands more are available at <http://www.nap.edu>.

Copyright © National Academy of Sciences. All rights reserved.

Unless otherwise indicated, all materials in this PDF File are copyrighted by the National Academy of Sciences. Distribution, posting, or copying is strictly prohibited without written permission of the National Academies Press. [Request reprint permission for this book](#).

MEXICO CITY'S WATER SUPPLY

Improving the Outlook for Sustainability

The Joint Academies Committee on the Mexico City Water Supply
Water Science and Technology Board
Commission on Geosciences, Environment, and Resources
National Research Council
and
Academia Nacional de la Investigación Científica, A.C.
Academia Nacional de Ingeniería, A.C.

NATIONAL ACADEMY PRESS
Washington, D.C. 1995

NOTICE: The project that is the subject of this report was approved by the Governing Board of the National Research Council, whose members are drawn from the councils of the National Academy of Sciences, the National Academy of Engineering, and the Institute of Medicine. The members of the board responsible for the report were chosen for their special competencies and with regard for appropriate balance.

This report has been reviewed by a group other than the authors according to procedures approved by a Report Review Committee consisting of members of the National Academy of Sciences, the National Academy of Engineering, and the Institute of Medicine.

Support for this project was provided by the Ford Foundation under Agreement No. 910-1413, the Tinker Foundation, the U.S. Environmental Protection Agency under Agreement No. CX-820728-01-0, the Mexico National Science and Technology Council (CONACYT), the Mexico Ministry of Health, the United Nations Development Program, the National Research Council Fund, the Rockefeller Foundation, and the MacArthur Foundation.

About the Cover: *Paisaje* by Emilio Rosenblueth, oil on canvas, 1938; collection of the Rosenblueth family. Use of this painting is in memory of Emilio Rosenblueth, Jr. (1926-1994), son of the artist, who did much for the advancement of science in Mexico and was so instrumental in building bridges to the scientific community in the United States. Dr. Rosenblueth, Jr. was director of the Institute of Engineering of the National University of Mexico (UNAM), the dean of science for the university, president of the Academy of Science (AIC), vice-minister of the Ministry of Education, and foreign associate member of NAS and NAE. Special thanks to Sra. Alicia Laguette de Rosenblueth, wife and companion of Emilio, and his family for permission to reprint.

Library of Congress Catalog Card No. 95-67404

International Standard Book Number 0-309-05245-9

Additional copies of this report are available from: National Academy Press 2101 Constitution Ave., NW Box 285 Washington, DC 20055 800-624-6242 202-334-3313 (in the Washington Metropolitan Area)

B-533

Copyright 1995 by the National Academy of Sciences. All rights reserved.

Printed in the United States of America

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

COMMITTEE ON THE MEXICO CITY WATER SUPPLY

CHARLES T. DuMARS, *co-Chair*, University of New Mexico, Albuquerque
ISMAEL HERRERA-REVILLA, *co-Chair*, Academia Nacional de Ingeniería,
A.C., and Instituto de Geofísica, UNAM, México. D.F.
IRINA CECH, University of Texas, Houston
RANDALL CRANE, University of California, Irvine
CRISTINA CORTINAS-DE NAVA, Instituto Nacional de Ecología de la
Secretaría de Desarrollo Social, México, D.F.
JOSE RAMÓN COSSÍO-DÍAZ, Suprema Corte de Justicia de la Nación,
México, D.F.
RICHARD S. ENGELBRECHT, University of Illinois at Urbana-Champaign
ROBERT N. FARVOLDEN, University of Waterloo, Canada, and National
Ground Water Association, Dublin, Ohio
HELEN INGRAM, University of Arizona, Tucson
JESUS KUMATE-RODRÍGUEZ, Secretaría de Salud, México, D.F.
LUCRECIA LOZANO-GARCÍA, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores
de Monterrey, Nuevo León, México
JUAN MANUEL MARTINEZ-GARCÍA, Dirección General de Construcción y
Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, México, D.F.
RUBÉN MARTÍNEZ-GUERRA, Comisión Nacional del Agua, México, D.F.
CARLOS VÉLEZ-OCÓN, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares,
México, D.F.
DAVID WILK-GRABER, Consultor en desarrollo urbano y medio ambiente,
México, D.F.

WSTB LIAISON

KENNETH D. FREDERICK, Resources for the Future, Washington, D.C.

STAFF FOR THE COMMITTEE

GARY D. KRAUSS, Study Director, Water Science and Technology Board,
National Research Council
JULIA MELCHOR-SÁNCHEZ, Study Director, Fundación Ricardo Monges
López, A.C.
ALEJANDRO LOZANO-GUZMÁN., Study Director, Academia Nacional de
Ingeniería, A.C.
GREGORY NYCE, Project Assistant, Water Science and Technology Board,
National Research Council

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY BOARD

DAVID L.FREYBERG, *Chair*, Stanford University, California
BRUCE E.RITTMANN, *Vice Chair*, Northwestern University, Evanston, Illinois
LINDA M.ABRIOLA, University of Michigan, Ann Arbor
J.DAN ALLEN, Chevron USA, Inc., New Orleans, Louisiana
PATRICK L.BREZONIK, University of Minnesota, St. Paul
WILLIAM M.EICHBAUM, The World Wildlife Fund, Washington, D.C.
WILFORD R.GARDNER, University of California, Berkeley
WILLIAM L.GRAF, Arizona State University, Tempe
THOMAS M.HELLMAN, Bristol-Myers Squibb Company, New York, New York
CHARLES C.JOHNSON, U.S. Public Health Service (Retired), Washington, D.C.
CAROL A.JOHNSTON, University of Minnesota, Duluth
WILLIAM M.LEWIS, JR., University of Colorado, Boulder
CAROLYN H.OLSEN, Brown and Caldwell, Pleasant Hill, California
CHARLES R.O'MELIA, John Hopkins University, Baltimore, Maryland
IGNACIO RODRIGUEZ-ITURBE, Texas A&M University, College Station
HENRY VAUX, JR., University of California, Riverside

Staff

STEPHEN D.PARKER, Director
SHEILA D.DAVID, Senior Staff Officer
CHRIS ELFRING, Senior Staff Officer
JACQUELINE MACDONALD, Senior Staff Officer
GARY D.KRAUSS, Staff Officer
ETAN GUMERMAN, Research Associate
JEANNE AQUILINO, Administrative Associate
ANITA A.HALL, Administrative Assistant
ANGELA BRUBAKER, Senior Project Assistant
MARY BETH MORRIS, Senior Project Assistant
GREGORY NYCE, Senior Project Assistant

COMMISSION ON GEOSCIENCES, ENVIRONMENT, AND RESOURCES

M.GORDON WOLMAN (*Chairman*), The Johns Hopkins University,
Baltimore, Maryland

PATRICK R.ATKINS, Aluminum Company of America, Pittsburgh,
Pennsylvania

EDITH BROWN WEISS, Georgetown University Law Center, Washington,
D.C.

JAMES P.BRUCE, Canadian Climate Program Board, Ottawa, Ontario, Canada

WILLIAM L.FISHER, University of Texas, Austin

EDWARD A.FRIEMAN, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla,
California

GEORGE M.HORNBERGER, University of Virginia, Charlottesville

W.BARCLAY KAMB, California Institute of Technology, Pasadena

PERRY L.MCCARTY, Stanford University, California

S.GEORGE PHILANDER, Princeton University, New Jersey

RAYMOND A.PRICE, Queen's University at Kingston, Ontario, Canada

THOMAS A.SCHELLING, University of Maryland, College Park

ELLEN SILBERGELD, Environmental Defense Fund, Washington, D.C.

STEVEN M.STANLEY, The Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland

VICTORIA J.TSCHINKEL, Landers and Parsons, Tallahassee, Florida

Staff

STEPHEN RATTIEN, Executive Director

STEPHEN D.PARKER, Associate Executive Director

MORGAN GOPNIK, Assistant Executive Director

JEANETTE SPOON, Administrative Officer

SANDI FITZPATRICK, Administrative Associate

ACADEMIA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA, A.C.

- MAURICIO FORTES-BESPROSVANI, President
- JUAN RAMON DE LA FUENTE-RAMIREZ, Vice President
- LINDA MANZANILLA-NAIM, Secretary-Elect
- RUBEN BARRERA-PEREZ, Secretary
- SAUL VILLA-TREVIÑO, Treasurer

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERIA, A.C.

- HECTOR NAVA-JAIMES, President
- LUIS ESTEVA-MARABOTO, Vice President
- CRISTINA VERDE-RODARTE, Secretary
- OCTAVIO MANERO-BRITO, Treasurer

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

Preface

Urbanization is a reality of our changing world. In developing countries, the lack of job opportunities in rural areas, decline in subsistence economies, and hope of a better life have given rise to the modern megalopolis. Unfortunately, urban infrastructure, institutions, and the natural resource base are often inadequate to support these burgeoning populations. A central question worldwide is, “how can our cities be sustained under these circumstances?” Water, like air, is a vital resource without substitute. Its supply, allocation, and disposal present numerous challenges, all of which must be met to support these growing metropolitan regions.

The Mexico City Metropolitan Area (MCMA) exemplifies these problems. The water requirements of the nearly 20 million residents present a formidable challenge to those responsible for providing water and wastewater services. As surface water within the Basin of Mexico is very limited, the principal water supply for the city is the Mexico City Aquifer, which is located beneath the metropolitan area. While the volume of water in storage is quite large, its quality is vulnerable to degradation from all of the activity above it. Lack of wastewater treatment and insufficient control over hazardous wastes have placed the aquifer and water distribution system at risk of microbiological and chemical contamination. Furthermore, the aquifer's use is restricted by problems of large-scale land subsidence. Since ground water exploitation first began in the last century, falling ground water levels have resulted in an average subsidence of 7.5 meters in downtown Mexico City. Subsidence has exacerbated

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

the natural propensity of the city to flood and damaged the city's infrastructure.

Attempts to control flooding and provide water and wastewater services in the MCMA have involved massive engineering projects, such as a deep drainage system and the importation of water from the Cutzamala Basin. The prevailing attitude among the population has been that water resources are state property and, as such, their use is a constitutional right (though not identified as such in the constitution) and free of charge. Traditionally, water supply and drainage services have been strongly subsidized by the federal government. The results have been severe financial deficits and waste of the resource through leakage and inefficiency of use. Rapid urban growth and insufficient finances have restricted the government's capacity to satisfy demands, extend the distribution system to areas with poor service, and provide adequate wastewater treatment prior to disposal or reuse.

Since 1988, Mexico has initiated major reforms in water resource allocation and water services. Nevertheless, the future of water service in the MCMA, as in many other cities of the world, is uncertain. In a sense, this case presents an extreme scenario that could be faced in many other places. Because of the complexity of the problem and its relevance to other cities in Mexico and the world, a ground-breaking, binational study was jointly undertaken by the Mexico Academy of Science (*Academia de la Investigación Científica, A.C.*), the Mexico National Academy of Engineering (*Academia Nacional de Ingeniería, A.C.*) and the National Research Council of the U.S. National Academy of Sciences and U.S. National Academy of Engineering. The partnership also involves the Mexico National Academy of Medicine (*Academia Nacional de Medicina*) and the U.S. Institute of Medicine. The study is part of a nongovernmental partnership to sustain and strengthen science and technology in both countries through collaborative activities. A part of this partnership is to undertake joint studies to illuminate significant public policy issues having scientific and technical underpinnings.

To get started, a planning group of representatives from the various academies met in Cocoyoc, Mexico, in 1990—sponsored by the Tinker, MacArthur, and Rockefeller foundations—and concluded that a study of the Mexico City Aquifer as a water supply source would be a timely and important undertaking. As the topic developed, participants determined that the study would provide greater value to local and regional decision makers if it evaluated the problems associated with water service in general. Therefore, the study scope was broadened to include the technical, social, economic, and institutional aspects of water service. In January 1992, a binational, multidisciplinary committee of volunteer experts was appointed by the academies of the United States and Mexico. The study was implemented with financial assistance from the Ford Foundation, Tinker Foundation, U.S. Environmental Protection Agency, United Nations Development Program, Mexico National Science

Foundation (*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*), Mexico Ministry of Health (*Secretaría de Salud*), and U.S. National Research Council.

This bilingual report summarizes much of the information developed in the course of the study and serves to disseminate the results and recommendations to scientists, decision makers, and the interested public in both Mexico and the United States. It stands as the formal report of the study. A separate and more complete technical report in Spanish only is available from the Mexico National Academy of Engineering and the Mexico Academy of Science, and is referenced throughout this report. The separate Spanish report should be immediately useful to the technical, research, and planning communities in Mexico as they embark on the relatively new programs designed to improve the sustainability of water supplies in the MCMA.

The committee conducted exhaustive investigations and deliberations over a 30-month period, including several formal meetings on both sides of the border, field visits, and collaborations among subsets of committee members. The committee members responsible for this report put forth considerable efforts, but they did not produce these significant products without assistance. First, the committee is indebted to a number of people—collectively listed at the end of the report as “study associates”—who volunteered their time, diverse expertise, and resources to the study. Their involvement enriched the reports and provided for a wider consensus in the resulting work. The committee and study associates went about their tasks with enthusiasm, friendly cooperation, and real affection for one another.

As with all such reports produced through a committee effort, the success of the report is dependent on the skills, dedication, and energy of the staff assigned to the committee. The unique nature of this study—the first collaborative study to be carried out by the National Research Council and the science and engineering academies of Mexico—doubles the complexity of what is normally a very challenging effort. The committee was fortunate to have the services of National Research Council study director Gary Krauss, whose contributions throughout the study and report are extensive. In addition to his ability for overall management and his editorial skills, Gary was able to keep up the level of communication across borders and help resolve the technical and cultural issues that frequently confronted the committee. Special thanks are due as well to Project Assistant Gregory Nyce, who managed logistical arrangements for the committee and prepared the bilingual report manuscript for publication.

On the side of the academies of Mexico, a small but very effective staff collaborated on the project. The contributions from the Mexico National Academy of Engineering study directors are particularly significant. The effective management and coordination of the early phases of the project by Alejandro Lozano—who is also a member of the Mexico National Academy of Engineering—helped individuals from diverse backgrounds and disciplines work together as a single committee. Julia Melchor—study director in the last phases

of the project—effectively managed the very difficult logistics of communications, committee meetings, and compiling the Spanish versions of the report. The coordination and supervision of project throughout its different stages were the responsibility of the committee co-chairs.

The integration of information on water supply, distribution, drainage, quality, and institutions is no easy task for any large city. In Mexico, the data collected by federal, state, and local authorities for water management and planning are frequently disparate, rarely in a published form, and have not been collectively integrated or analyzed by the scientific community. The committee and others involved with this study believe that this effort represents the first attempt to present a more comprehensive framework for water supply in the MCMA¹. In this regard, this study would not have been possible without the significant support and cooperation from the following government agencies, which provided critical staff time, information, and analysis: the divisions of urban services and water operation and construction of the Federal District (*Departamento del Distrito Federal a través de sus Direcciones Generales de Construcción y Operación Hidráulica y de Servicios Urbanos*), the Valley of Mexico Regional Water Authority of the National Water Commission (*Comisión Nacional del Agua a través de su Gerencia Regional de Aguas del Valle de México*), the Water and Sanitation Commission of the State of Mexico (*Gobierno del Estado de México a través de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento*), the agencies for environmental health and epidemiology of the Ministry of Health (*Secretaría de Salud a través de sus Direcciones Generales de Saneamiento Ambiental y Epidemiología*), the National Ecology Institute of the Ministry of Social Development (*Secretaría de Desarrollo Social a través del Instituto Nacional de Ecología*), the geophysics and engineering institutes and the Center for Ecology of the National University (*la Universidad Nacional Autónoma de México a través de sus Institutos de Geofísica e Ingeniería, y el Centro de Ecología*), the Mexico School of Public Health (*Escuela de Salud Pública de México*), and the recently created Federal District Water Commission (*Comisión de Aguas del Distrito Federal*).

While a study of this nature cannot identify specific designs and system details, it lays out concepts that should be pursued in the interest of a more sustainable water supply for the MCMA and for areas like it worldwide. Implementation will, of course, be quite difficult, especially where institutional and social policy changes are called for. Nonetheless, we hope that the concepts discussed in this report will be useful not only to decision makers, scientists,

¹ It should be clarified that water resource data, especially concerning the quantity of water supplied to the MCMA, are rapidly changing. The data presented in this report are current as of approximately March 1994.

and members of the public concerned with water resources specific to Mexico City, but also to others concerned with water resources management in regions where issues similar to those in Mexico City present themselves. When it comes to issues of resource allocation, environmental protection, and concern for humankind, there is indeed only one community—the world's human community—that shares the common goal of leaving this planet in no worse shape than it was in when we were born into it. Finally, we hope that this effort will foster the use of independent advice from Mexico's national scientific and engineering academies to improve the scientific and technological basis for resolving important public policy issues.

CHARLES T. DUMARS and ISMAEL HERRERA-REVILLA, *Co-Chairs*
Committee on the Mexico City Water Supply
March 1995

THE NATIONAL ACADEMIES

National Academy of Sciences
National Academy of Engineering
Institute of Medicine
National Research Council

The **National Academy of Sciences** is a private, nonprofit, self-perpetuating society of distinguished scholars engaged in scientific and engineering research, dedicated to the furtherance of science and technology and to their use for the general welfare. Upon the authority of the charter granted to it by the Congress in 1863, the Academy has a mandate that requires it to advise the federal government on scientific and technical matters. Dr. Bruce Alberts is president of the National Academy of Sciences.

The **National Academy of Engineering** was established in 1964, under the charter of the National Academy of Sciences, as a parallel organization of outstanding engineers. It is autonomous in its administration and in the selection of its members, sharing with the National Academy of Sciences the responsibility for advising the federal government. The National Academy of Engineering also sponsors engineering programs aimed at meeting national needs, encourages education and research, and recognizes the superior achievements of engineers. Dr. Robert M. White is president of the National Academy of Engineering.

The **Institute of Medicine** was established in 1970 by the National Academy of Sciences to secure the services of eminent members of appropriate professions in the examination of policy matters pertaining to the health of the public. The Institute acts under the responsibility given to the National Academy of Sciences by its congressional charter to be an adviser to the federal government and, upon its own initiative, to identify issues of medical care, research, and education. Dr. Kenneth I. Shine is president of the Institute of Medicine.

The **National Research Council** was organized by the National Academy of Sciences in 1916 to associate the broad community of science and technology with the Academy's purposes of furthering knowledge and advising the federal government. Functioning in accordance with general policies determined by the Academy, the Council has become the principal operating agency of both the National Academy of Sciences and the National Academy of Engineering in providing services to the government, the public, and the scientific and engineering communities. The Council is administered jointly by both Academies and the Institute of Medicine. Dr. Bruce Alberts and Dr. Robert M. White are chair and vice chair, respectively, of the National Research Council.

The Mexico Academy of Science (*Academia de la Investigación Científica, A.C.*) was created in 1959 and is dedicated to organizing and promoting scientific investigations in all aspects of science. Dr. Mauricio Fortes is president of the Mexico Academy of Science.

The Mexico National Academy of Engineering (*Academia Nacional de Ingeniería, A.C.*) was created in 1974 to promote high quality engineering research, education, and technological development. Dr. Héctor Nava is the president of the Mexico National Academy of Engineering.

www.national-academies.org

Contents

1	OVERVIEW	1
2	THE MEXICO CITY METROPOLITAN AREA	4
3	DESCRIPTION OF THE MEXICO CITY AQUIFER AND ITS EXPLOITATION	8
	Physical characteristics and hydrogeology	
	Water level declines in the aquifer and land subsidence	
	Water balance for the aquifer	
4	WATER SUPPLY, DISTRIBUTION, AND DISPOSAL	19
	Water supply and distribution	
	Wastewater collection and disposal	
	Water reuse and recycling	
5	WATER QUALITY AND HEALTH CONCERNS	39
	Vulnerability of the aquifer	
	Monitoring and sanitary certification	
	Quality of the water sources	
	Water quality concerns in the distribution system	
	Water-related health concerns	
6	WATER DEMAND MANAGEMENT	53
	Problems and priorities	
	Water tariffs, use, and access in the MCMA	
	Demand management tools	
	Implementation issues	
7	INSTITUTIONAL ISSUES	71
	Water quantity institutions	
	Water quality institutions	
8	CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	78
	REFERENCES	89
	APPENDICES	
A	Committee Member Biographies	99
B	Study Affiliates	105

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

MEXICO CITY'S WATER SUPPLY

Improving the Outlook for Sustainability

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

1

Overview

Mexico City is the cultural, economic, and industrial center for the nation. With a population approaching 20 million, roughly equivalent to the entire state of Texas or New York, it has become a magnet of growth. There is a continuous migration of people from rural areas to the city in search of work and the general economic benefits generated from the centers of political power. Many of these immigrants settle illegally in the urban fringe with the hope that the government will eventually provide public services.

The provision of water and wastewater service for the growing population of Mexico City presents a formidable challenge. Like the air pollution problem that received considerable attention 10 years ago, the water supply situation in Mexico City is now nearing a crisis. Continued urban growth along with poor system financing have limited the government's ability to expand the water supply network to under-served areas, repair leaks, and provide wastewater treatment. Almost seventy-two percent of the city's water supply comes from the Mexico City Aquifer, which underlies the metropolitan area and which is being substantially over-exploited. Ground water levels have been declining over the course of the past century, resulting in regional land subsidence. This subsidence which has lowered the city center area by an average of 7.5 meters, exacerbates the flood-prone conditions of the city and has damaged the infrastructure—including water and sewer lines. These difficulties, combined with inadequate hazardous waste management, leave the aquifer and the water distribution system vulnerable to contamination with consequent risks to public health.

This growing urgency very recently has resulted in the development of new laws and conservation efforts, education programs, and innovative solutions such as the privatization of water service and treatment. Reversing past trends and implementing new conservation strategies—including comprehensive metering, billing, and enforcement—will be difficult.

Like Mexico City, many of the major cities throughout the world face uncertain prospects for providing a safe, reliable water supply. The sustainability of an urban water supply depends on the physical capacity of the hydrologic system; the vulnerability of the system to contamination; capabilities of the infrastructure for treatment, distribution, and disposal; and the social, economic, and institutional aspects that influence a society's ability to manage its resources.

This report broadly covers several topics relevant to the sustainability of a water supply for Mexico City. [Chapter 2](#) introduces the Mexico City Metropolitan Area that is the focus of the study. [Chapter 3](#) reviews the hydrogeological characteristics of the southern portion of the Basin of Mexico where Mexico City is located, and discusses the history and consequences of ground water exploitation. [Chapter 4](#) describes the various sources of water supplying Mexico City, the operation of the distribution systems, water treatment, wastewater treatment and disposal, and water reuse programs. In [Chapter 5](#), the vulnerability of the aquifer to microbiological and chemical contamination is explored, and the concerns for drinking water quality and health are examined. [Chapter 6](#) considers the potential for demand management approaches to achieve more equitable water service and fiscal stability. [Chapter 7](#) includes a description of the recent changes in water policy and law as the committee understands them, and an examination of some of the institutional challenges for more effective water quantity and water quality management.

The report identifies several areas in which specific progress has been made, and where opportunities exist to improve the balance of water supply, water demand, and water conservation. It is concluded, in [Chapter 8](#), that more attention should be given to managing water demand through metering and pricing mechanisms, education, conservation, and water reuse programs. A more comprehensive and integrated research program is needed to understand better the regional hydrology. The treatment of municipal wastewater prior to disposal should be a high priority, and a comprehensive, ground water protection program is required. Suggestions are given to facilitate the institutional changes currently taking place, which—if successfully implemented—have the potential to promote a new cultural perspective on the value of water. In addition to this bilingual report that summarizes much of the information developed in the course of the study, a separate and more detailed report in Spanish is published by the science and engineering academies of Mexico (AIC-ANIAC, 1995).

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

A study of this nature cannot identify specific technical designs, nor can it delineate specific strategies for necessary institutional and social change. The issues and related recommendations presented are meant to give general guidance as the policy makers attempt to implement the various new programs to manage the quantity and quality of water resources in the Mexico City Metropolitan Area.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

2

The Mexico City Metropolitan Area

For historical and political reasons, Mexico is a very centralized country in spite of efforts made by the government in recent years to move towards decentralization. Consequently, government services and industrial development have concentrated in Mexico City. Forty-five percent of the country's industrial activity and 38 percent of its gross national product are located here. The city houses nearly all government offices, international businesses, cultural activities, and the most important universities and research institutions. Rapid growth over the past 50 years has been characterized both by planned urban and residential areas for the middle and upper class, and by unplanned and illegal land appropriations by immigrants to the peripheral areas. Over time, government authorities have intervened in these irregular settlements to supply urban services, including water supply; although, the services remain inadequate for long periods of time.

Mexico City is situated in the southern part of the Basin of Mexico, an extensive, high mountain valley at approximately 2,200 meters above sea level, and surrounded by mountains of volcanic origin that reach altitudes of over 5,000 meters above sea level. The major political jurisdictions of the basin are the Federal District that houses the nation's capital, most of the state of Mexico, and smaller portions of the states of Hidalgo, Tlaxcala, and Puebla (see [Figure 2-1](#)). The area commonly known as Mexico City was traditionally associated with the north central area of the Federal District. With the increased urbanization that has occurred over the past decades, a larger metropolitan area has been designated that contains the entire Federal District and all or portions of the states of 17 counties in the neighboring State of Mexico. Political divisions of

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

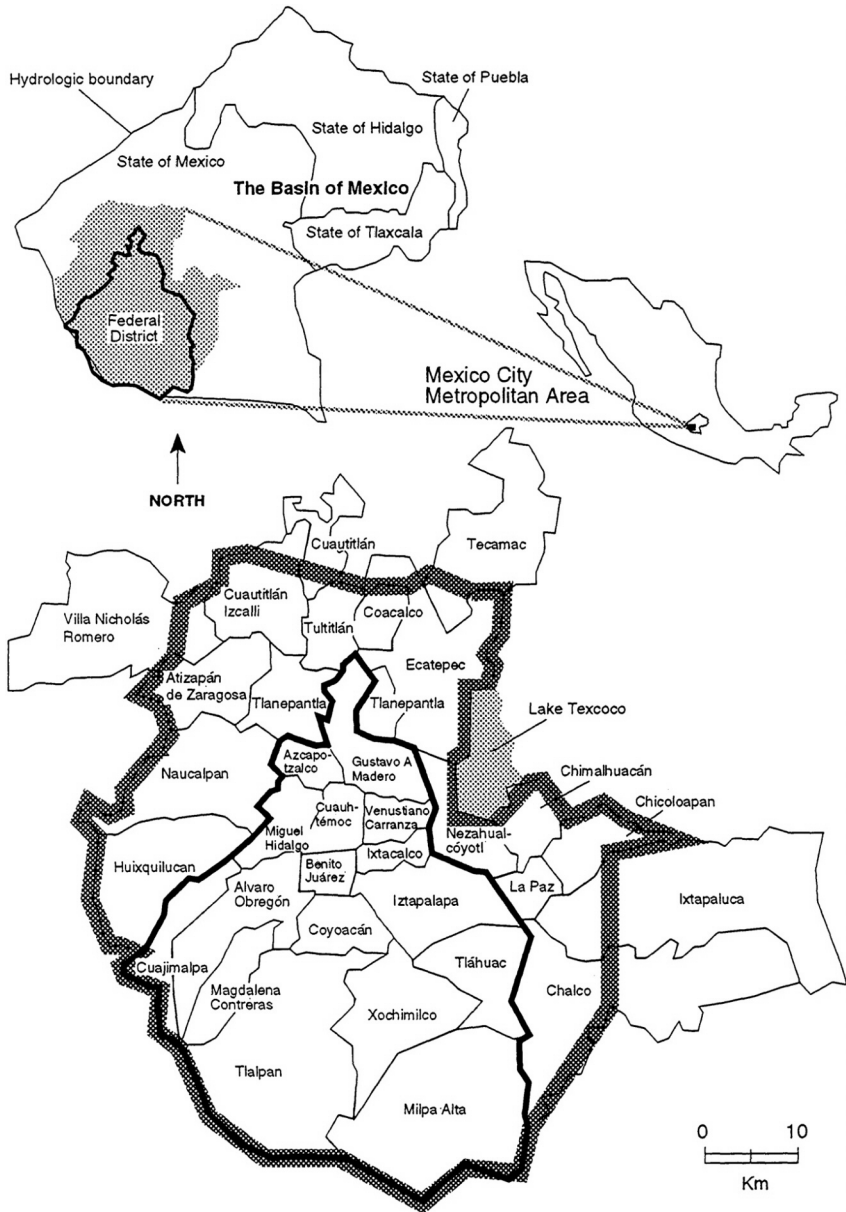


FIGURE 2-1

The Mexico City Metropolitan Area (MCMA) is composed of the entire Federal District (with 16 counties) and all or portions of 17 counties of the State of Mexico. The approximate MCMA boundary is indicated by the wide, patterned line. The inset shows the location of the MCMA within the hydrologic boundary of the Basin of Mexico, and boundaries of other states—Mexico, Hidalgo, Tlaxcala, and Puebla—that partially fall within the Basin.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

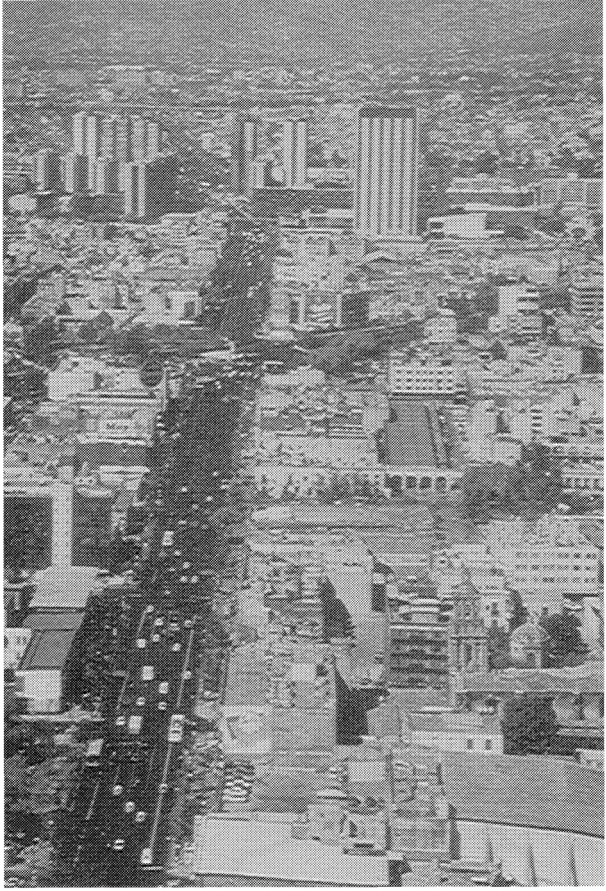


Photo 2-1
Aerial view of downtown Mexico City. Courtesy of Robert Farvolden.

Mexican states are known as *municipios*. Likewise, the Federal District is divided into 16 political *delegaciones*. For the purposes of this study, the metropolitan area is known as the Mexico City Metropolitan Area or MCMA, and the political subdivisions of both jurisdictions will be referred to as counties (Figure 2-1). With an area of 3,773 square kilometers, the Mexico City Metropolitan Area is one of the largest and most rapidly growing urban centers in the world.

Population figures for the MCMA are inexact. In 1990, the population was officially estimated at 15 million people and projected to exceed 22 million by the year 2000 (INEGI, 1991a). Population and development pressures have

naturally led to difficulties in planning and provision of the limited water resources available. While the rate of population growth within the north central urbanized portions of the Federal District has slowed and even declined since the 1980s, immigration to the surrounding jurisdictions, especially in the State of Mexico, has been responsible for significant population increase and urban expansion within the greater metropolitan area. Various forms of illegal or irregular settlements have been of particular concern for water resource planning. Many of these settlements, known as “lost cities” (*ciudades perdidas*) or “popular colonies” (*colonias populares*), become more or less established over time. Public services are eventually provided, but often remain incomplete for long periods. The newest immigrants often occupy the steep upland areas, which further complicates the delivery of water and sewer service (see AIC-ANIAC, 1995 for further details on population growth in the MCMA).

The long history of the southern portion of the basin as an urban center, beginning with the Aztec capital of Tenochtitlán in the fourteenth century, attests to its attraction. The hydrology of this region includes an excellent aquifer system and natural springs. Nevertheless, the unusual physical setting of Mexico City—situated in a high, naturally closed basin—uniquely challenges the provision of water for a large urban population. The location of the city on an old saline lake bed and the absence of natural drainage from the valley, combined with a seasonally intense rainfall pattern, have led to difficulty in managing storm runoff. There are no large surface water sources nearby that can be used conjunctively with the local ground water source, and the high elevation of the valley makes water importation an expensive alternative. Finally, clay soils under the metropolitan area tend to consolidate from the dewatering and depressuring that accompany depletion of the underlying aquifer, resulting in regional land subsidence.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

3

Description of the Mexico City Aquifer and Its Exploitation

The unique geology of the Basin of Mexico has historically provided abundant water resources for the inhabitants in spite of the scarcity of free flowing surface water. This chapter briefly describes the physical characteristics and hydrogeology of the basin, focusing on the southern portion of the basin where human presence has been a major factor since the Aztec capitol of Tenochtitlán. The history of exploitation of the Mexico City Aquifer and the associated problems of subsidence are briefly examined, and the quantity of water available in ground water storage is reviewed.

PHYSICAL CHARACTERISTICS AND HYDROGEOLOGY

The Basin of Mexico is located in the central part of the Trans-Mexican Volcanic Belt and has an approximate area of 9,000 square kilometers. The basin, at an altitude of 2,200 meters above sea level, is the highest valley in the region, and is surrounded by mountains that reach elevations of over 5,000 meters above sea level. Average annual temperature is 15 degrees centigrade (or about 60 degrees fahrenheit). Most of the 700 millimeters of annual rainfall is concentrated in a few severe storms from June through September with little or no precipitation the remainder of the year.

The basin is a naturally closed depression that was artificially opened in the late 1700s to control urban flooding. Sources of ground water recharge in the basin are largely derived from infiltrated precipitation and snow melt in the

surrounding mountains and foothills, which move as subsurface flow toward the lower elevations. In its natural state, the basin contained a series of lakes, ranging from fresh water lakes at the upper end to those at the lower end where salt is concentrated due to evaporation. The ground water flow produced numerous springs in the foothills and upwellings in the valley (Figure 3-1).

The geology of the southern portion of the basin, south of Sierra Guadalupe, is the best-investigated portion of the Basin of Mexico. This area, which contains Mexico City, is often referred to as the Valley of Mexico, because it is partially divided by several low mountains from the remainder of the basin. Likewise, the aquifer system in this region is often referred to as the Mexico City Aquifer. Details of the subsurface geology of this area, shown schematically in Figure 3-2, have been described by Mooser (1990) and Mooser and Molina (1993). The information is based on data from a series of four deep test holes and reflection seismic profiles performed by *Petróleos Mexicanos* (or Pemex, the government-owned petroleum company) following the earthquake of September 19, 1985.

Superficial lacustrine clay deposits (i.e., the layer of clay at the former and existing lake bottoms) cover 23 percent of the lower elevations of the Basin of Mexico. The deposits are present in two formations divided by what are referred to as “hard layers” (*Capa Duras*) composed primarily of silt and sand. The *Capa Duras* occur between 10 and 40 meters deep and are only a few meters in thickness. The lacustrine clay layers, which reach to a depth of 100 meters, are considered to be an “aquitarde,” because they are considerably less permeable than the *Capa Duras* or the underlying alluvial sediments. The *Capa Duras* produced the first artesian wells when ground water was exploited early in the 19th century.

Alluvial fill occurs below the lacustrine clays and ranges in thickness from 100 to 500 meters. This material is interstratified with Pleistocene and recent basalt deposits that together comprise the upper portion of the principal water supply aquifer (Units 2, 3, and 4 of Figure 3-2). A lower unit of the principal aquifer is composed of stratified volcanic deposits, 100 to 600 meters thick, and reaches to a depth of 500 to approximately 1000 meters (Unit 6 of Figure 3-2). This lower unit is bounded by a Pliocene lacustrine clay deposit.

Three major hydrologic zones are defined for the Basin of Mexico—the lacustrine zone described above, the piedmont or transition zone, and the mountain zone. The distribution of these three zones can be inferred from the elevation map in Figure 3-3. The lacustrine zone corresponds to the lowest elevations. The piedmont region generally occurs between the historic lake bed and the steep mountains. Here, the lacustrine clays become interbedded with silts and sands, or, in the areas closer to the base of the mountains, the piedmont is composed largely of fractured basalt from volcanic flows. The basalt formation is highly permeable with good storage capacity, and is considered to be a component of the principal aquifer. It is exposed near the upper portion of the

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

piedmont, and extends below the alluvial deposits of the valley floor. The piedmont, also known as the transition zone, is important for natural recharge of the aquifer. The mountains ringing the Basin of Mexico are volcanic in origin. The Sierra Nevada range is to the east and the Sierra de las Cruces is to the west. The Sierra Chichinautzin to the south forms the most recent chain. Its eruption, approximately 600,000 years ago, blocked what was primarily a southerly drainage and effectively closed the basin. The Sierra Chichinautzin is the most natural important recharge zone for the Mexico City Aquifer due to the high permeability of its basalt rock. The large Xochimilco springs on the basin floor are a discharge point for the underground flow, and some of the most productive wells are located there.

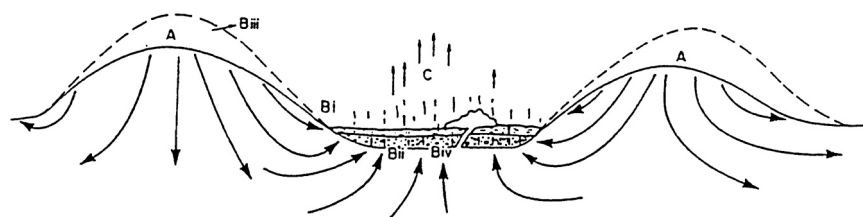


FIGURE 3-1

Interpretation of the historic ground water flow system in the Basin of Mexico. Infiltration of precipitation and snow melt in the surrounding mountains forms a deep water table (A) with downward gradients, some of which exits at shallow water tables (Bi) in the lower foothills or piedmont regions, and the majority flows under the valley floor and upward through the clays as diffuse discharge (Bii) and as thermal springs (Biv) through fractures in the deep aquifer. All discharge from the closed basin is by evapotranspiration (C). Source: Durazo and Farvolden, 1989.

The conceptual model for the Mexico City Aquifer identifies two deeper permeable units—an intermediate and a deep aquifer. These are poorly characterized but are considered to be independent of the principal aquifer. The intermediate aquifer is composed of Miocene volcanic deposits (Units 9, 10, and 10a of Figure 3-2). The underlying Cretaceous limestone formation (Units 11a and 11b of Figure 3-2) may also be an aquifer. Where it is exposed outside the southern portion of the basin, it is currently exploited for ground water.

Historically, the principal aquifer and the shallow aquifer (or *Capa Duras*) were subject to artesian pressure so that all wells on the valley floor flowed at the surface without pumping. The natural hydraulic gradients caused water to move upward and through the overlying clay aquitards (as was shown in Figure 3-1). In the past century, the proliferation of wells has changed the natural hydrologic conditions. Now, the gradients and flow in the upper layers of the deposits are generally downward toward the heavily pumped zones.

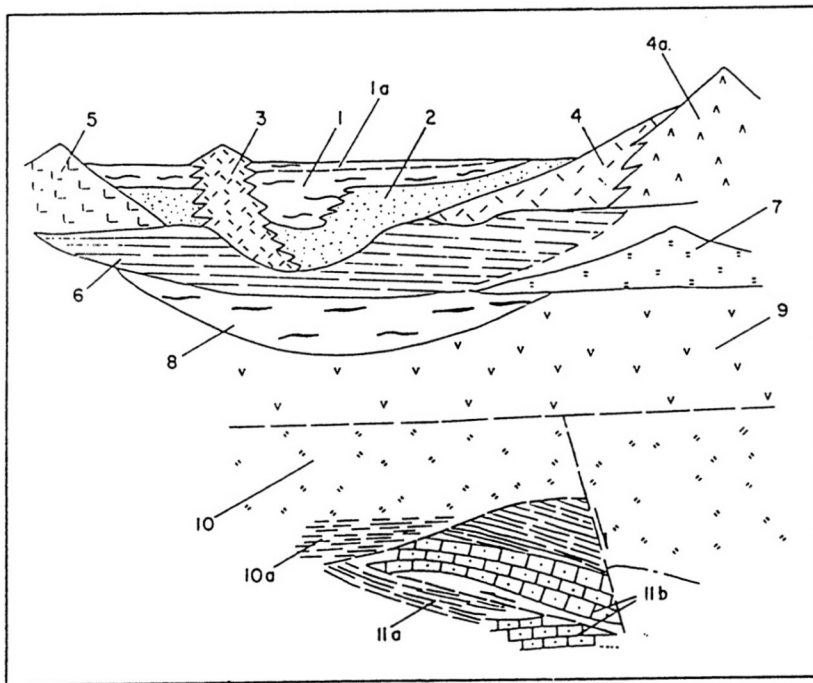


FIGURE 3-2

Schematic stratigraphy of the southern portion of the Basin of Mexico. Numbers in the figure refer to the following units: (1) lacustrine clay deposits, (1a) *Capa Duras* (represented as a dashed line). (2) alluvial fill, (3) Pleistocene and more recent basalt including Sierra Chichinautzin, (4) Tarango formation, (4a) high mountain range, (5) volcanic hills and deposits, (6) stratified volcanic deposits, (7) Pliocene mountain range, (8) Pliocene lower lacustrine deposits, (9) Miocene volcanic deposits, (10) and (10a) Oligocene volcanic deposits, (11a) and (11b) Cretaceous limestone platform. The upper portion of the main aquifer is composed of units (2), (3), and (4). The lower portion of the main aquifer is composed of unit (6). Units (9), (10), and (11) are considered lower aquifers distinct from the main aquifer in exploitation, and are not as well characterized. Source: Adapted from Mooser, 1990.

WATER LEVEL DECLINES IN THE AQUIFER AND LAND SUBSIDENCE

Beginning in the fourteenth century, the Aztec city of Tenochtitlán made use of an elaborate system of aqueducts to carry spring water from higher elevations of the southern portion of the Basin of Mexico down to the city situated on land reclaimed from the saline Lake Texcoco. After defeating the

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

Aztecs in 1520, the Spaniards rebuilt the aqueducts and continued to use spring water until the mid 1850s. The discovery in 1846 of potable ground water under artesian pressure motivated a well-drilling furor (Orozco and Berra, 1864). Over the next century, a combination of increasing ground water extraction and artificial diversions to drain the valley resulted in the drying of many natural springs, shrinking of lakes, and a loss of pressure and subsequent consolidation of the lacustrine clay formation on which the city is built. Consequent land subsidence has been a serious problem in the MCMA since the early 1900s. By 1953, it had been demonstrated that subsidence was linked to ground water extraction, and many wells inside the urban area were shut down.

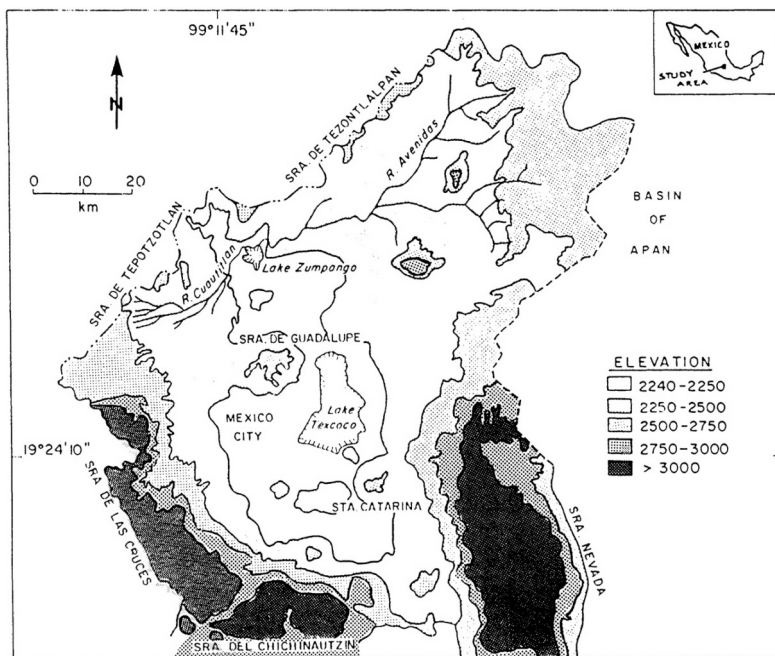


FIGURE 3-3

Elevation zones in the Basin of Mexico. The lacustrine zone occupies the lower elevations of the basin (clear). The piedmont region, or transition zone, occurs on the lower and upper slopes. The two highest elevation classes roughly correspond to the mountain zone.

The first signs of ground water level declines were the drying up of natural springs in the 1930s, coinciding with intensive exploitation of the main aquifer through deep wells (100–200 meter depths). Although ground water levels have

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

been measured for decades, measurements were performed for particular projects and thus did not give a good indication of regional draw down. In 1983, systematic monitoring of the water levels in the aquifer began (Lesser-Illades et al., 1990). Since that time, the average annual declines in ground water levels range from 0.1 to 1.5 meters per year in the different zones of the MCMA. Water level measurements during the period from 1986 to 1992 show a net lowering of 6 to 10 meters in the heavily pumped zones of this region.

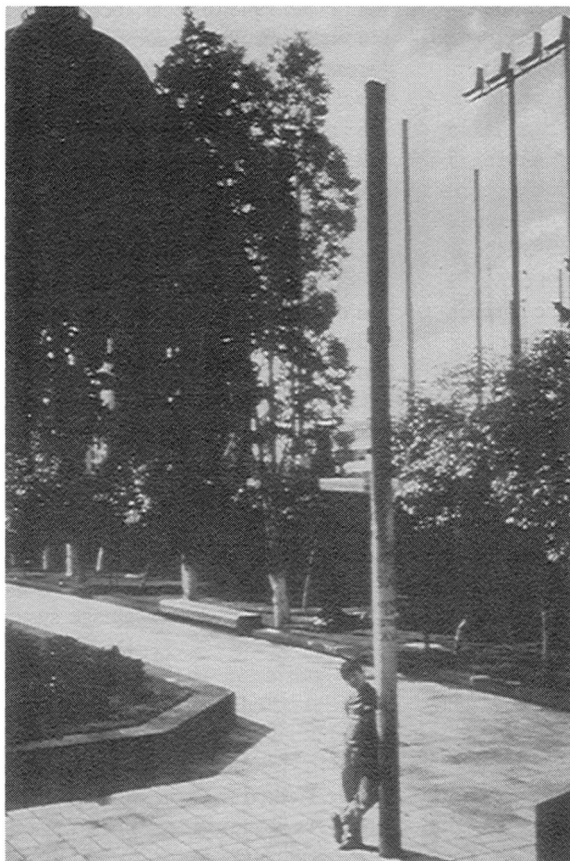


Photo 3-1

Well casing rising about 7 meters above the ground in a Mexico City neighborhood, illustrating the magnitude of local subsidence. Neighborhood children reportedly mark their height on the pole to see if they grow faster than the ground sinks. Courtesy of Robert Farvolden.

When the shallow aquifer was pumped extensively in the mid to late 1800s, land subsidence was already in progress. By 1895, subsidence had reached an

average of 5 centimeters per year. From 1948 to 1953, increased pumping rates, combined with deeper extraction wells, resulted in subsidence rates of up to 46 centimeters per year in some areas. According to the Mexico Valley Water Authority (*Gerencia de Aguas del Valle de México*), the net subsidence over the last 100 years has lowered the central, urbanized area of the MCMA by an average of 7.5 meters. The result has been extensive damage to the city's infrastructure, including building foundations and the sewer system.

The site of Mexico City on the valley floor has always been subject to flooding. One of the most serious problems resulting from subsidence is the lowering of the elevation of the MCMA relative to Texcoco Lake—the natural low point of the southern portion of the basin. In 1900, the bottom of the lake was 3 meters lower than the median level of the city center. By 1974, the lake bottom was 2 meters higher than the city. These changes have aggravated the flooding problem and are reflected in the evolution of the complex drainage system to control flooding (see [Figure 3–4](#)). In the early 1900s, drainage of the city was gravity-conducted through the Grand Drainage Canal and out the Tequisquiatic Tunnel at the north end of the valley. By 1950, the sinking of the city was such that dikes had to be built to confine the stormwater flow, and pumping was required to lift the drainage water under the city to the level of the drainage canal. The relative rise of the lake level continued to threaten the MCMA with flooding, leading to work on the deep drainage system and excavations to deepen Texcoco Lake.

In 1953, because of the severe subsidence in the city's center, many wells were closed and new wells were constructed in the southern regions of Chalco, Tláhuac, and Xochimilco. Current pumping rates of 12.2 cubic meters per second (cms) in this region have likewise resulted in subsidence and lowering of the water levels. Several lakes have formed in depressions created by lowered ground levels in the pumping area. As pumping continues, these lakes are expanding. [Figure 3–5](#) shows comparative subsidence in the city center area of Mexico City and the Chalco plain from about 1935 to the present (Ortega et al., 1993).

In 1925, Roberto Gayol reported to the Mexican Society of Engineers and Architects that surveys showed Mexico City was sinking, and that the cause was likely subsurface drainage related to the recently completed construction of the Grand Drainage Canal and the Tunnel of Tequisquiatic. The linkage between subsidence and exploitation of the aquifer has been closely examined since that time. Nabor Carrillo was the first to develop a mathematical model linking subsidence to the hydrology (Carrillo, 1948). Observation wells were installed, and institutional research programs began with the *Comisión Hidrológica del Valle de México* and its successors, the *Comision de Aguas de Valle de México*, and the *Gerencia de Aguas de Valle de México* (SARH, 1953–1969). An early and comprehensive review of subsidence was performed by Hiriart and Marsal (1969). Modern ground water models were developed for the

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

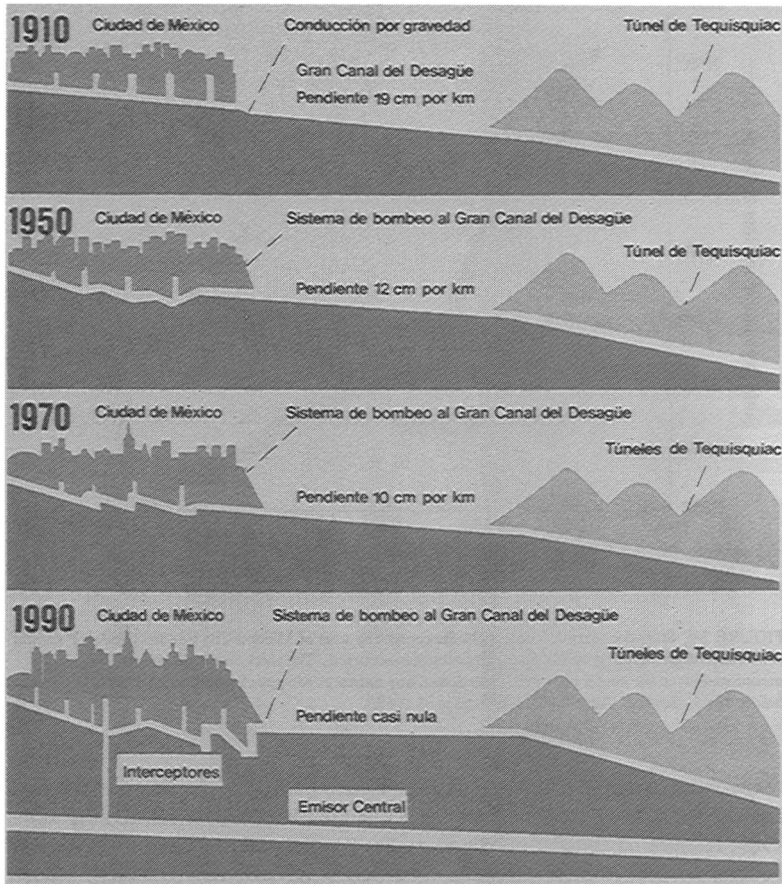


FIGURE 3-4

Subsidence of the Mexico City Metropolitan Area. Progressive sinking of the city is shown relative to the Grand Drainage Canal (*Gran Canal del Desagüe*). The original gravity-fed system was disrupted by subsidence and, by 1950, pumping was necessary (*sistema de bombeo*) to discharge stormwater out of the city. Subsidence continued to cause flooding problems. In 1960, a system of drainage interceptors and deep collectors (*Emisor Central*) were constructed along with a new artificial exit from the Basin of Mexico. Source: Departamento del Distrito Federal, 1990a.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

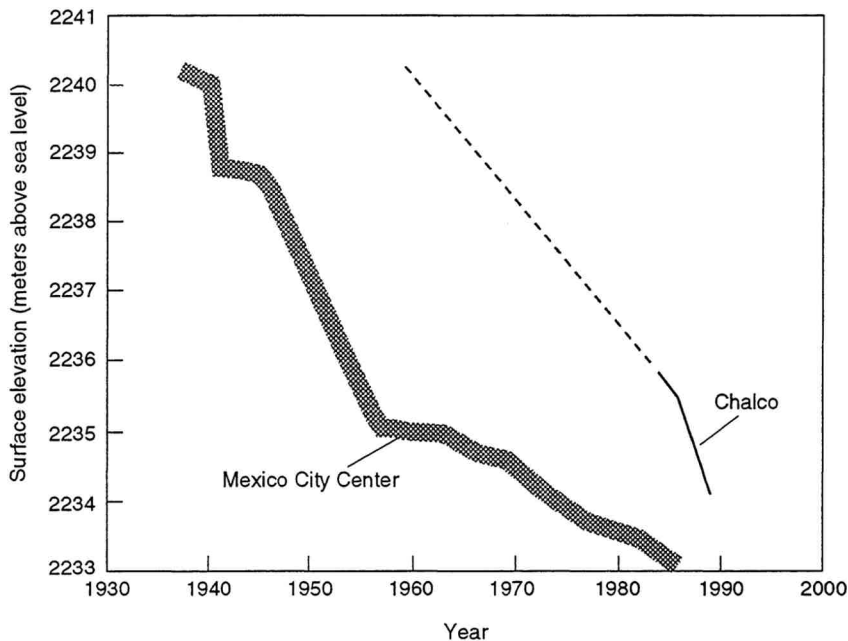


FIGURE 3-5 Subsidence measurements in the center city area of Mexico City and the Chalco Plain, an area where more recent ground water extraction has occurred. The thick line indicates the range of measurements in the center city area. The dotted line indicates estimated subsidence in the Chalco Plain before 1984. Source: Adapted from Ortega et al., 1993.

semiconfined, multiple aquifers in the southern portion of the Basin of Mexico, and applied to the question of subsidence in the MCMA (Herrera and Figueroa, 1969; Herrera, 1970), and in related studies (Bredehoeft and Pinder, 1970). The Federal District is currently using more recent developments of these models (Herera, et al., 1989; Herrera et al., 1994) in conjunction with a network of 320 observation wells for determination of water level and flow direction. Every two years, more than 1,400 surveys are performed to gauge changes in subsidence.

WATER BALANCE FOR THE AQUIFER

It is common practice to refer to a water balance in order to determine the quantities of water available for use, and a ground water balance is often at

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

tempted where appropriate. At a gross level, estimating a water balance for surface waters is fairly straightforward because the main input to a surface water catchment—precipitation—can be measured. Estimates are less precise for a ground water system because all data for the computations (properties of the media, subsurface geology, and definition of the flow systems) have inherent errors that make all calculations questionable. Finally, most ground water systems respond to stresses much more slowly than surface water systems so that water balances are not often used except for very long-term considerations. A further complication is that the water balance for the aquifer may be quite different than the balance for the entire ground water system; much of the water that enters the ground water system may not reach the main aquifer under consideration.

By far, the best way to determine the water balance for an aquifer is to use long term records of pumping and ground water levels. Declining water levels demonstrate that more water is leaving the system than entering, and indicate a state of overdraft. Most unexploited aquifers are in a state of quasi-equilibrium. Seasonal or cyclic fluctuations are expected, but in the absence of major climatic shifts, the long-term water levels remain stable under natural conditions.

Field measurements have shown that the water table of the aquifer supplying Mexico City has been declining by approximately 1 meter per year (Herrera, et al., 1994), and overdrafting of the aquifer has been occurring at least since the early 1900s. The question of how long this rate of exploitation can continue has been a subject of debate.

The best estimates of the quantity of ground water in storage have come from investigations of the southern portion of the Basin of Mexico (generally from Sierra Guadalupe, south) where the majority of geological studies have been made. In estimating the volume of ground water in storage, it is important to consider the contributions from the upper clay layer, and the fact that the clay layer (the aquitard) is not acting as a confining layer for approximately 30 percent of its extent where water levels have sunk below this limiting layer. On the basis of both field measurements and modeling in this region, the total saturated volume of the aquifer in the southern portion of the basin has been estimated to be 1,189.3 billion cubic meters. The annual draft in this region is estimated at 27.9 cms¹. This rate of extraction equates to a ground water loss of either 3.45 or 5.59 billion cubic meters per year. The difference depends on whether or not the calculations consider the water held in the aquitard as contributing to the volume of water in the main aquifer. At these rates of depletion, the calculated volume of storage is 212 to 344 times the annual draft (see Herrera et al., 1994, and AIC-ANIAC, 1995, for further details of the calculation).

¹ Ground water extraction rates for the entire Basin of Mexico, for supplying the MCMA, are estimated to be 43 cubic meters per second (see [Chapter 4](#)).

While this kind of water balance is commonly used to estimate changes in ground water volumes, it does not provide a basis for developing long-term rates of extraction. In the MCMA, subsidence is the penalty for overdrafting. The damage to the drainage system and other public works has been previously noted. In addition, and as described more fully in [Chapter 4](#), the aquifer is vulnerable to the contamination that accompanies the consolidation, dewatering, and fracturing of the clay layers of the aquitard. A simplistic water balance approach does not account for other realities as well. The actual volume available in the main aquifer would likely be less than estimated because of probable decreasing porosity with increasing depth. Also, there are practical, economic limits to the depth of pumping. Finally, the deep well tests by PEMEX (the government-operated oil company) in the late 1980's have indicated a likelihood of geologically-induced water quality problems with increasing aquifer depth.

More precise information on the sustainability of continued extraction from the aquifer would require specific studies including field observations and the use of computational models (see AIC-ANIAC, 1995, for additional details on water balance, hydrogeology, and exploitation of the aquifer).

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

4

Water Supply, Distribution, and Disposal

The management of water resources for the Mexico City Metropolitan Area (MCMA) is a large and complex problem, and the integration of water resource and institutional information is no easy task for any large city. In this chapter, information is presented on the quantities of water derived from the various sources, the treatment and distribution of this water, wastewater treatment, the drainage system, and water reuse. In many respects, this effort represents the first time that water resource information of this nature has been integrated for the MCMA. The water management agencies for the Federal District and State of Mexico have typically maintained data necessary for operation, maintenance, and planning of their respective service areas. Much of this information is not in a published form or readily available. In attempting to portray the water supply system for the entire metropolitan area, the committee requested and received a high level of cooperation from authorities of the principal water management agencies. The quantitative data for water supply, distribution, and disposal may be incomplete or imprecise in some respects; however, it presents the current picture of water management in the MCMA, and the presentation can be improved upon with further cooperation and open exchange of information. Recent institutional changes in Mexico are now encouraging a more holistic approach to water basin management, and these changes are discussed in [Chapter 7](#).

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION

Characteristics of the Service Areas

Management of water and wastewater service within the MCMA is shared by the Federal District and the State of Mexico, who are each responsible for providing potable water and wastewater collection and disposal within their jurisdictional boundaries. The National Water Commission is responsible for delivery of water in bulk to the service areas, for operation of many of the deeper water supply wells, and the operation of various aspects of the hydraulic works dealing with importation of water from neighboring basins. [Table 4.1](#) shows some of the water use characteristics of the MCMA.

The size of the Federal District is approximately 1,504 square kilometers. Whereas the entire district is considered a part of the MCMA, the southern portion of the district is sparsely populated and a smaller area of approximately 667 square kilometers is actually serviced by the common water distribution system and the wastewater collection system. Residents who do not have piped access rely on tank trucks for delivery of water, or on local wells and springs. Authorities have been attempting to restrict urbanization in this southern portion of the district because of the difficulties in providing basic services, and because it represents an important natural ground water recharge zone.

According to the Water and Sanitation Commission of the State of Mexico, the metropolitan area extends to the east, north, and west of the Federal District into 17 counties of the State of Mexico, having a total area of 2,269 square kilometers. Like the Federal District, a smaller area of approximately 620 square kilometers is served by the common water distribution and wastewater collection systems. Together, the two metropolitan service areas equal 1,287 square kilometers.

According to the 1990 census, 94 percent of the 15.1 million residents of the MCMA are serviced with a water connection either directly to the house or from a common distribution faucet in the neighborhood (INEGI, 1991a). A higher service level (97 percent) occurs in the Federal District than in the State of Mexico (90.5 percent). The balance of residents must obtain their water from tank trucks, supplied either by the government or at relatively great expense by private vendors. Values for average per capita water use, as reported by the Federal District and the State of Mexico are 364 and 230 liters per day respectively. Authorities attribute the larger per capita use in the Federal District to the fact that the Federal District is more developed and includes more commercial and industrial activity than the State of Mexico. Also, there are many private industrial wells within the State of Mexico not reflected in the estimates. Average per capita water use is not excessive when compared to that of the United States, which ranges from 250 to 1120 liters per day with an average of 660 liters per day (Tchobanoglous and Schroeder, 1985).

TABLE 4.1 Characteristics of the Mexico City Metropolitan Area and Usage of Water Supplied to the Federal District and the State of Mexico.

	Federal District	State of Mexico
Total area of the MCMA (square kilometers)	1504	2269
Area served by the common water distribution and wastewater disposal systems (square kilometers)	667	620
Population of the MCMA (millions)	8.3	6.8
Daily per-capita water usage (liters)	364	230
Water usage by category (percent)		
Domestic	67	80
Industrial	17	17
Commercial and Urban Services	16	3

Sources of information: Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993; INEGI, 1991a.

An important aspect of water service is the amount of unaccounted water lost due to leaks within the distribution system. In the United States, 15 percent is often used as a rule-of-thumb estimate in the absence of better data. An analysis by Boland (1983), based on 1981 data collected by the American Water Works Association, indicated that for 120 U.S. water utilities, the unaccounted fraction ranged from 0.00 to 0.55, with a simple (unweighted) average of 0.12. The estimate of 15 percent has been used by the National Water Commission in Mexico for planning purposes, however, the National Water Commission acknowledges that estimates of water losses through leakage in the MCMA vary widely and could be as high as 40 percent in some parts of the service area. Transmission losses, corrective actions, and water services are discussed further in [Chapter 6](#).

Sources of Water

The current water use of the MCMA is approximately 60 cubic meters per second (cms) (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993). Approximately 43 cms, or almost 72 percent of the water used, is drawn from various well fields that tap the aquifer throughout the Basin of Mexico ([Table 4.2](#)). The Federal District and State of Mexico

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

combined have 1,089 registered wells at depths of 70 to 200 meters. This does not include wells operated by the National Water Commission, which are deeper. There are also a large number of non-registered wells, many of which are located in the State of Mexico. Wells are generally located in four different well fields within and surrounding the MCMA. These are labeled as South (or Xolchmilco), Metropolitan, East (or Texcoco region) and North well fields. Slightly greater rates of extraction (45 cms) have been reported by Mazari and Mackay (1993). Imported water from the Cutzamala and Lerma basins (see Figure 4–1) contribute about 26 percent of the total supply. The quantities provided by each of the water sources are shown in Table 4.2. Except in the case of the Magdalena River and Madin Dam, the same raw water sources supply the metropolitan service areas of both the Federal District and the State of Mexico (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993).

TABLE 4.2 Source and Quantity of Raw Water Supplied to the Federal District and State of Mexico Service Areas. All values are in cubic meters per second (cms).

Raw Water Sources	Federal District	State of Mexico	Total
Basin of Mexico			
Well fields	22.7	20.3	43.0
Magdalena River	0.2	-	0.2
Madin Dam	-	0.5	0.5
Springs, streams	0.5	0.2	0.7
Imported Sources			
Cutzamala River	7.6	3.0	10.6
Lerma well fields	4.3	1.0	5.3
Total Water Supply	35.3	25.0	60.3

Sources of information: Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993.

Surface water within the Basin of Mexico contributes only about 2 percent (1.4 cms) of the water supply for the MCMA. The Magdalena River supplies water to the Federal District, whereas the Madin Dam on the Tlalnepantla River supplies the State of Mexico. Small, naturally occurring springs and streams are used where available, and these sources also enter the distribution system directly.

By the 1930s, continued subsidence and the realization that ground water supplies within the Basin of Mexico were being depleted had already prompted authorities to explore sources of water outside the basin. In 1941, construction began on a 15 kilometers long aqueduct to transfer water from wells in the

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

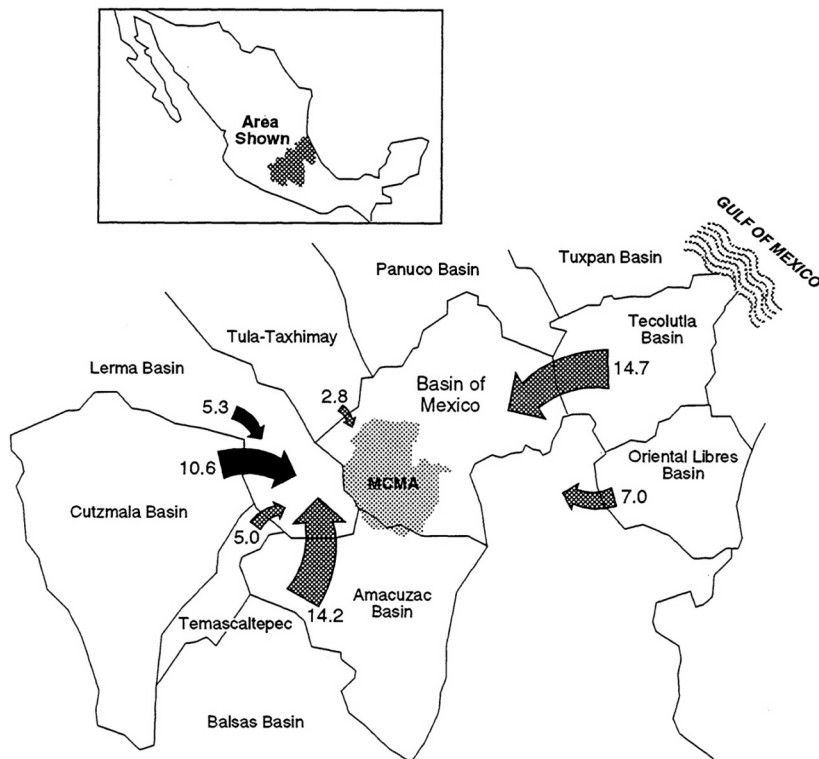


FIGURE 4-1

Shown in shaded arrows, the MCMA currently receives 10.6 cms of imported water from the Cutzamala Basin and 5.3 cms from the Lerma Basin, which are added together in the Cutzamala-Lerma System. Other arrows and quantities (in cms) indicate potential new sources for the MCMA based on studies by the National Water Commission.

Lerma Basin over the Sierra de las Cruces divide to Mexico City and the Basin of Mexico. In 1982, a more ambitious project was initiated that delivered surface water from the Cutzamala River Basin, a distance of 127 kilometers and a net rise in elevation of 1,200 meters. Currently, the Cutzamala-Lerma project is a combined system that delivers water from both the Cutzamala River and the Lerma Basin and contributes approximately 26 percent of the water supplied to

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

the MCMA. The relation of these neighboring basins to the Basin of Mexico is depicted in [Figure 4-1](#).

The Cutzamala-Lerma System draws 10.6 cms of water from the Cutzamala River. After treatment near the withdrawal points, the Cutzamala River water is transported by aqueduct. Ground water imported from the Lerma Basin (4.3 cms) is disinfected with chlorine and added to the same aqueduct before the water reaches the MCMA distribution system. A separate aqueduct supplies the State of Mexico service area with 1.0 cms of ground water from the Lerma Basin.

As shown in [Figure 4-1](#), the federal government has identified other sources of water from neighboring basins for their potential contribution to the water supply of the MCMA. According to the National Water Commission, the quantities of water potentially available from other neighboring basins add up to 43.7 cms, equal to the total extraction rate of the Mexico City Aquifer. The costs to import water from these areas are not known to the committee. At present, the government plans to import 5 cms of water from the Temascaltepec Basin, and is considering the importation of 14.2 cms from the Amacuzac Basin.

Water Treatment

Two water supply treatment plants treat surface water sources within the Basin of Mexico for delivery to the MCMA. The Federal District operates the Magdalena River treatment plant, which provides alum coagulation/flocculation, gravity sedimentation, rapid sand filtration, and chlorine disinfection. The National Water Commission operates a surface water treatment plant at Madin Dam, which supplies the State of Mexico service area and uses a similar treatment process as the Magdalena plant.

The National Water Commission treats imported Cutzamala River water at its source at the Los Berros treatment plant. Water treatment consists of prechlorination, alum coagulation/flocculation, gravity sedimentation, and rapid sand filtration. This plant is currently treating 10.6 cms of water (as was shown in [Table 4.2](#)) and is operating somewhat over its design capacity of 10 cms. Treatment takes place near the source of extraction, after which it enters the Cutzamala-Lerma System and is transported to the MCMA.

Treatment of ground water sources consists of chlorination to give a total residual of 0.2 milligrams/liter prior to entering the distribution system. Additionally, there are 326 re-chlorination stations throughout the distribution system to maintain the chlorine residual. The Federal District has three treatment plants that were originally designed for varying levels of advanced ground water treatment including removal of dissolved gases, color, iron, hardness reduction, filtration, and chlorination. These plants are old and in poor condition, and according to the water works department of the Federal District, they now simply

provide disinfection with chlorine. There are other pilot plants performing a small amount of advance treatment of ground water on an experimental basis.

The Water Distribution System

The Federal District service area includes nearly 11,000 kilometers of distribution lines and 243 storage tanks with a capacity of 1.5 million cubic meters. Water from all the separate sources is added to the common distribution system. The Federal District is currently constructing a water transmission line (the *Acueducto Periférico*) that will transport water from the Cutzamala System—entering the distribution system from the west—to the southern and eastern part of the district (Departamento del Distrito Federal, 1992b).

The State of Mexico system has nearly 800 kilometers of distribution lines and 32 storage tanks with a capacity of 440,000 cubic meters. The State of Mexico operates the 49 kilometer water transmission line (the *Macrocircuito*) to transport water entering from the west side of the service area (including the imported water from the Cutzamala-Lerma System) to the east side (Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993). This transmission line is being upgraded to increase the volume of water taken from the Cutzamala-Lerma system to 7.3 cms, and to provide service to the eastern service area.

As mentioned, and shown in [Table 4.2](#), the Federal District and the State of Mexico service areas share water from all sources, except for the Magdalena River serving the Federal District, and Madin Dam serving the State of Mexico. The Federal District and the State of Mexico service areas within the MCMA are each divided into five water service districts, and water enters the distribution system at designated “entrance points” at one or more locations in each service district. [Figure 4–2](#) shows a map of the water service districts and the associated entrance points within the Federal District. Comparable information for State of Mexico service area was not made available for this report. [Figure 4–3](#) is an attempt to show the quantities of water from each of the various ground and surface water sources as it is divided between the Federal District and the State of Mexico. Ground water is extracted within each of the water districts and directly enters the distribution system. Quantities of water are also collected from well fields outside of the service areas, from surface water sources within the basin, and are imported from the Cutzamala-Lerma System. Water collected within a particular service district does not necessarily enter the distribution system within the same service district. For example, water extracted from wells in the South Service District apparently enter the distribution system in the East and Central Service Districts. For the purposes of this report, it is sufficient to say that the distribution system is complex and interconnected throughout the MCMA. The information presented here is not published elsewhere, and as far as the committee is aware, this is the first attempt to

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

describe water distribution for both the Federal District and State of Mexico service areas in a combined approach.

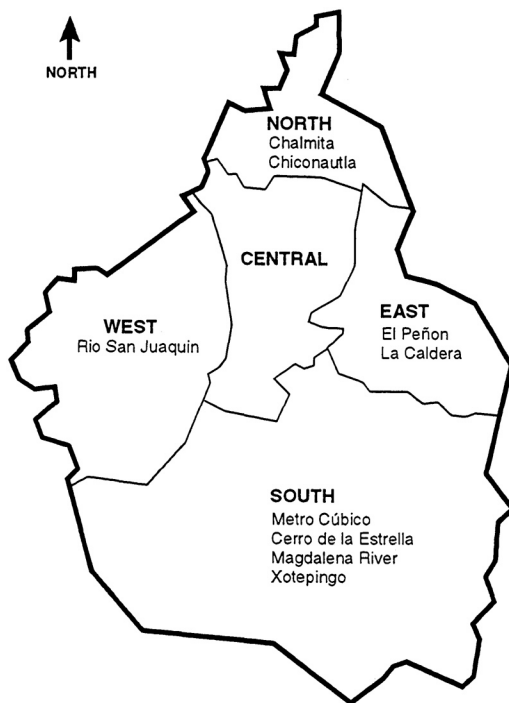


FIGURE 4-2
Water service districts within the Federal District and names of associated entrance points where water enters the distribution system.

WASTEWATER COLLECTION AND DISPOSAL

A single, combined wastewater and stormwater collection system serves both the Federal District and the State of Mexico service areas in the MCMA. Each service area has its own sewer network; however, all the sewers eventually discharge into main interceptors of the general drainage system, conducting

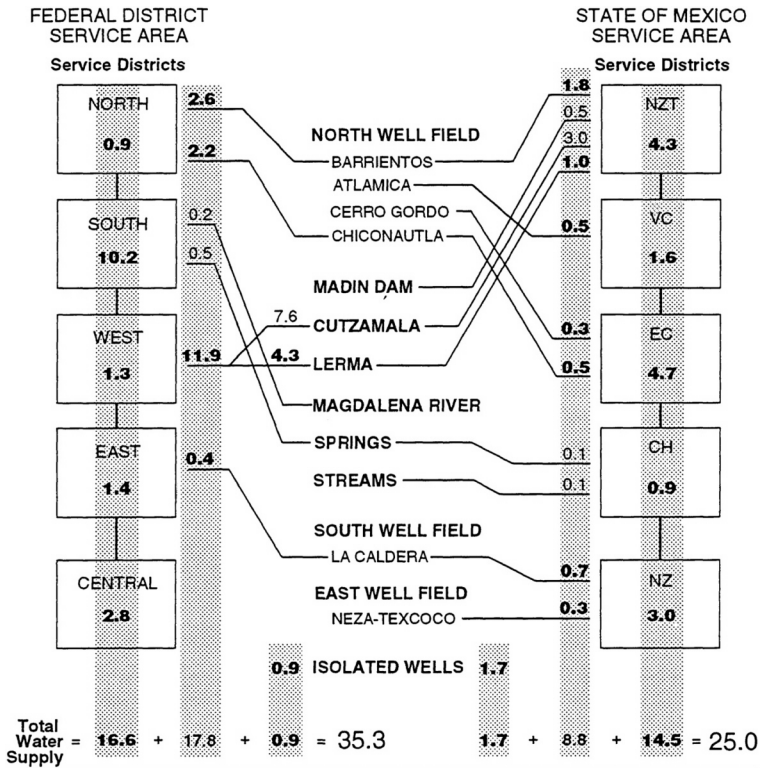


FIGURE 4-3

Schematic diagram of how quantities of water are allocated within the Federal District and the State of Mexico service areas in the MCMA. Bold numbers are quantities from ground water sources; plain numbers identify surface water sources. Ground water is extracted within each service district. Lines show quantities of water that enter the service districts from other sources, which, except for Cutzamala and Lerma, are within the southern portion of the Basin of Mexico. The Federal District and State of Mexico maintain separate distribution systems, but the service districts within each service area are interconnected.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

the wastewater through four artificial exits located at the northern end of the basin. The main components of the drainage system, labeled in Spanish, are shown in [Figure 4-4](#). The system network is over 10,000 kilometers long with 68 pumping stations, numerous dams (*presa*), lagoons, and regulatory tanks for flow control, 111 kilometers of open canals, 42 kilometers of rivers (*rio*) used primarily for drainage, and 118 kilometers of underground collectors (*interceptor* and *emisor*) and tunnels.

Based on the 1990 census (INEGI, 1991a), 82 percent of the 15 million residents in the MCMA are connected to the sewer system. About 6 percent use septic tanks, and over 9 percent are not serviced by any kind of drainage system. However, differences within the service areas are notable, with some counties supporting less than half the residents on a sewer system. Additional information on sewer service is provided in [Chapter 6](#).

Domestic and industrial wastewater discharges and stormwater are collected in the secondary network (consisting of small pipe service at the neighborhood level), and then carried by the primary network into the General Drainage System flowing out of the basin to the north. The State of Mexico reports that the total dry weather flow for the MCMA, which consists mainly of untreated municipal wastewater, is estimated at 44.4 cms (Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993). During the rainy season, the region experiences many storms of high intensity and short duration. A single storm can produce up to 70 millimeters (about 3 inches) of rainfall, representing 10 percent of the total annual precipitation. Because of this rainfall pattern, and the irregular geography, the general drainage system was designed to carry 200 cms over a 45 hour period (Departamento del Distrito Federal, 1969; See AIC-ANIAC, 1994 for a detailed description of the drainage system).

Wastewater Treatment

Currently, 90 percent of the municipal wastewater from the MCMA remains untreated and is diverted out of the Basin of Mexico through the general drainage system. The untreated wastewater is then used to irrigate 80,000 hectares of farmland in the Valley of Mezquital in the State of Hidalgo to the north. Irrigation return flow drains into tributaries of the Panuco River, which empties into the Gulf of Mexico.

The approximately 10 percent of wastewater treated in the MCMA is for local reuse projects such as ground water recharge and agricultural and urban-landscape irrigation. There are 13 wastewater treatment plants in the Federal District and 14 in the State of Mexico service area treating a total flow of 2.62 and 1.69 cms respectively (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993).

[Table 4.3](#) gives the combined flow during both the dry and rainy seasons and the characteristics of the wastewater as it exits the basin through the Grand

Drainage Canal (dry weather flow) or the deep drainage line (wet flow). The values given for the several contaminants are the average concentration for 1992. The U.S. average and the concentrations of these same contaminants in a typical raw municipal wastewater in the United States, with respect to being either weak, medium, or strong, are also given for the purpose of comparison (U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development, 1992).



Photo 4-1

A view of the Grand Drainage Canal (Gran Canal Desaugüe), which carries wastewater and stormwater runoff from the Mexico City Metropolitan Area. The canal exits the Basin of Mexico through the Tequisquiac tunnel and empties into the Moctezuma River, a tributary to the Panuco River, which flows into the Gulf of Mexico. Courtesy of Robert Farvolden.

The level of many of the contaminants in the wastewater and the combined flow during both the dry and rainy seasons is similar and sometimes greater than that of typical wastewater in the United States. The very high concentration of total solids, total dissolved solids, and phosphorous, and to a lesser extent nitrites and nitrates, could be the result of untreated industrial wastewater discharge.

Tables 4.4 and 4.5 list the treatment plants serving the Federal District and the State of Mexico service areas, together with their design and current operational

capacity, type of treatment provided, and reuse practice (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993). The current flow of the 13 treatment plants within the Federal District service area (Table 4.6) is only 55 percent of design capacity, i.e., 2.621 versus 4.623 cms (Departamento del Distrito Federal, 1992b). Secondary treatment at all of these plants is provided by utilizing the activated sludge process.

TABLE 4.3 Characteristics of Wastewater Flow in the Grand Canal as it Exits the Basin of Mexico.

Contaminants ^a	Dry Weather Flow	Rainy Season Flow	Concentration Range ^b			United States Average ^b
			Weak	Medium	Strong	
Total solids	1800	1800	350	720	1200	—
Total dissolved solids	1611	1445	250	500	850	—
Total suspended solids	179	357	100	220	350	192
Settleable solids, mL/L	2.0	2.33	5	10	20	—
Nitrate, as N	0.30	.030	0	0	0	0.60
Nitrite, as N	0.06	0.06	0	0	0	—
Total phosphorous, as P	30	30	4	8	15	6.80
BOD	240	187	110	220	400	181

^aAll values as mg/L, except as noted.

^bU.S. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development, 1992.

Where tertiary treatment is practiced, it consists of coagulation/flocculation, sedimentation, sand filtration, and disinfection. In the case of disinfection, chlorine is added to achieve a 1 milligram per liter total residual at either the treatment plant or point of reuse.

The wastewater treatment plants in the Federal District are located to serve specific zones within the service area. Therefore, the raw wastewater characteristics at each plant are likely to be different, depending upon the source of the wastewater, e.g., domestic versus industrial. The treatment plants at El Rosario, Acueducto de Guadalupe, and Colegio Militar have performed poorly. The major problems associated with the wastewater at these three plants are reported to be high content of grease, oils, phosphorous, nitrites, and nitrates; low removal of alkalinity and hardness; and a high electric conductivity. A high concentration of oil and grease is known to cause operational problems with a

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

variety of secondary and tertiary treatment processes. Of these three plants, only El Rosario provides tertiary treatment. But the tertiary treatment it provides can only reduce the concentration of phosphorous; the unit operation and processes employed at this plant are not designed to remove nitrites and nitrates. The quality of the treated effluent at the other 10 treatment plants is reported to meet the requirements for their specific reuse purpose.

TABLE 4.4 Wastewater Treatment Plants Within the Federal District Service Area.

Plant	Design Capacity (cms)	Current Flow (cms)	Type of Treatment Provided	Reuse Practice
Chapultepec	0.160	0.106	Secondary	RIC, ULI
Coyoacán	0.400	0.336	Secondary	RIC, ULI
Ciudad Deportiva	0.230	0.080	Secondary	ULI
Sn. Juan de Aragón	0.500	0.364	Secondary	RIC, ULI
Tlatelolco	0.022	0.014	Secondary	ULI
Cerro de la Estrella	3.0	1.509	Secondary	GRI, AI
Bosque de las Lomas	0.055	0.027	Secondary	ULI
Acueducto de Guadalupe	0.08	0.057	Secondary	ULI
El Rosario	0.025	0.022	Tertiary	RIC, ULI
S.L.	0.075	0.055	Tertiary	RIC, GRI
Tlaxiátemalco				
Reclusorio Sur	0.030	0.013	Secondary	RIC, ULI
Iztacalco	0.013	0.010	Tertiary	RIC, ULI
Colegio Militar	0.020	0.018	Secondary	RIC, ULI
Total Capacity	4.623	2.621		

RIC: Recreational Impoundments with Incidental Contact; GRI: Ground Water Recharge by Injection; ULI: Urban Landscape Irrigation; AI: Agricultural Irrigation. Source: Departamento del Distrito Federal, 1992b.

In the case of the 14 treatment plants within the State of Mexico service area (Table 4.5), it is noted that 7 (50 percent) of the plants are currently being operated at less than their designed flow capacity (Comisión Estatal de Agua y Sanimiento, 1993). Because some of the treatment plants are operated by either an industry or the county in which the plant is located, information on the operation and performance of all the plants was not available from the State of Mexico water and sanitation department.

The handling, treatment, and disposal of the residual or sewage sludge solids normally generated at wastewater treatment plants is a major consideration. These residuals can pose a hazard if not treated or disposed of properly. However,

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

because wastewater treatment in the MCMA is performed for water reuse, rather than for disposal purposes, the sludge produced is apparently returned directly to the sewer system without any treatment.

TABLE 4.5 Wastewater Treatment Plants Within the State of Mexico Service Area.

Plant	Design Capacity (cms)	Current Flow (cms)	Type of Treatment Provided	Reuse Practice
Pintores	0.005	0.005	Secondary	ULI
Naucalli	0.040	0.030	Secondary	ULI
S.J. Ixhuatepec	0.150	0.030	Secondary	IR
Nezahualcoyotl	0.200	NA	Secondary	ULI
U. de Chapingo	0.040	0.040	NA	ULI
Lago de Texcoco (two treatment plants)	1.50	1.000	Secondary Tertiary	AI, L
Termoeléctrica V. de México	0.450	0.250	Secondary	IR
P. Sn. Cristobal	0.400	0.250	Secondary	IR
Lechería	0.030	0.010	Secondary	IR
Ford	0.030	0.030	Secondary	IR
Club de Golf Chiluca	20	20	NA	ULI
Revillagigedo Chiluca	20	20	NA	IR
La Estadía Chiluca	20	20	NA	IR
Total Capacity	2.905	1.685		

ULI: Urban Landscape Irrigation; AI: Agricultural Irrigation; IR: Industrial Reuse; L: Lake Augmentation; NA: Not Available. Source: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993.

WATER REUSE AND RECYCLING

Water reuse refers to the practice of reclaiming waters of impaired quality and using them, after suitable levels of treatment, for beneficial purposes. Water recycling refers to the capture and return of water of impaired quality for use in the same process that generated it; this can often be accomplished without excessive treatment of the water, such as with an industrial closed-loop cooling system. Municipal wastewater, which includes the used water generated by residences, commercial establishments, and often industrial facilities, is the most generally available source of reuseable water, following a suitable degree of treatment. Other sources of water of impaired quality have been considered for reuse, such as stormwater runoff and agricultural irrigation return flow.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

However, the quality of these other sources is less predictable than treated municipal wastewater, and their suitability for reuse is not as well known (National Research Council, 1994). Table 4.6 (Metcalf and Eddy, 1991) identifies possible reuse applications for reclaimed municipal wastewater, together with the major concerns associated with each (for additional information, see U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development, 1992).

Water reuse activities in the MCMA officially began in 1984 under the National Program for Efficient Use of Water (Departamento del Distrito Federal, 1990b). Water reuse was one component of a larger program to reduce water loss and improve system revenues. During the period 1990–1992, the program concentrated on several reuse activities in the MCMA, including protection of the natural aquifer recharge zones; aquifer recharge with storm water and reclaimed municipal wastewater; and use of reclaimed wastewater in industrial and service sectors.

This national program included the establishment of new wastewater discharge regulations by the Federal District, and in 1990, provisions were established for an industrial pretreatment program—an important prerequisite for any reclamation and reuse activity. However, little information is available on the extent and success of industrial pretreatment programs in the MCMA. Within the Federal District service area, the 2.62 cms of treated reused wastewater (Table 4.3) is distributed as follows: 83 percent-urban landscape irrigation and recreational impoundments, 10 percent-industrial, 5 percent-agricultural irrigation, and 2 percent-commercial, e.g., car washing (Departamento del Distrito Federal, 1992b).

The State of Mexico has also implemented a program specifically designed to increase the reuse of reclaimed municipal wastewater. The program goals include the development of feasibility studies for the construction of additional treatment systems and a distribution network for delivering reclaimed wastewater for reuse; the promotion of water reuse projects within both the public and private sectors; the rehabilitation of existing wastewater treatment plants; the preparation of operation and maintenance manuals and other documents for improved management of wastewater treatment and reuse systems; and a quantification of the potable water now being used for various purposes which could potentially be replaced with reclaimed wastewater. Under this program, potential water reuse activities—including agricultural irrigation, industrial use, urban landscaping, and aquifer recharge—have been identified within specific service districts of the State of Mexico service area. By the year 2000, the State of Mexico intends to have four new wastewater treatment plants with a total capacity of 8.6 cms (Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993).

Industries in the Federal District are recycling or reusing 2.4 cms of wastewater, largely for cooling water. This quantity is reportedly a 25 percent increase from the level of reuse in 1990 and double that of 1988. Many industries

TABLE 4.6 Wastewater Reuse Applications for Reclaimed Municipal Wastewater and Major Concerns Associated With Each Use.

Wastewater Reuse Applications	Concerns
<p>Agricultural Irrigation <i>Crop irrigation; Commercial nurseries.</i></p> <p>Landscape Irrigation <i>Park; School yard; Freeway median; Golf course; Cemetery; Greenbelt; Residential</i></p>	<p>Surface- and groundwater pollution if not properly managed; Marketability of crops and public acceptance; Effect of water quality, particularly salts, on soils and crops; Public health concerns related to pathogens (bacteria, viruses, and parasites); Use area control including buffer zone. May result in high user costs.</p>
<p>Industrial Recycling and Reuse <i>Cooling; Boiler feed; Process water; Heavy construction</i></p>	<p>Constituents in reclaimed wastewater related to scaling; corrosion, biological growth, and fouling; Public health concerns, particularly aerosol transmission of pathogens in cooling water</p>
<p>Nonpotable Urban Uses <i>Fire protection; Air conditioning; Toilet flushing</i></p>	<p>Public health concerns on pathogens transmitted by aerosols; Effects of water quality on scaling, corrosion, biological growth, and fouling; Cross-connection.</p>
<p>Groundwater Recharge <i>Groundwater replenishment; Salt water intrusion control; Subsidence control</i></p>	<p>Organic chemicals in reclaimed wastewater and their toxicological effects. Total dissolved solids, nitrates, and pathogens in reclaimed wastewater</p>
<p>Recreational & Environmental Uses <i>Impoundments, lakes, and ponds; Marsh enhancement; Streamflow augmentation; Fisheries; Snowmaking</i></p>	<p>Health concerns of bacteria and viruses; Eutrophication due to N and P in receiving water; Toxicity to aquatic life.</p>
<p>Potable Reuse <i>Blending in water supply reservoir; Pipe to pipe water supply.</i></p>	<p>Constituents in reclaimed wastewater, especially trace organic; chemicals and their toxicological effects; Aesthetics and public acceptance; Health concerns about pathogen transmission, particularly viruses.</p>

Source: Metcalf and Eddy, Inc., 1991.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

have the potential of recycling or reusing wastewater. Private industry has already shown interest in the benefits of water reuse. For example, 26 private companies in the Vallejo area of the MCMA initiated a reuse program in 1989 by establishing a for-profit firm, *Aguas Industriales de Vallejo* (World Bank, 1992). The firm rehabilitated an old municipal wastewater treatment plant and distributes reclaimed water to its shareholder companies at three-quarters of the cost of government supplied potable water. Likewise, it has been estimated that most of the treated wastewater associated with the State of Mexico service area is reused by industry. The potential market for reclaimed wastewater varies with the type of treatment processes employed, but can be influenced by governmental policy on water pricing and wastewater permits. These policy considerations are explored more fully in Chapters 6 and 7.

A major wastewater reclamation and reuse scheme is being developed at Lake Texcoco in conjunction with programs for flood control and dust abatement. Historically, Lake Texcoco covered much of the lower elevations within the southern portion of the Basin of Mexico. Between flooding, the shallow, saline lake bed would dry and produce severe dust storms (Marsal, 1974). In response to this problem, the Texcoco Plan was established in 1971. The solution was to create smaller, more permanent ponds within the large, intermittent lake bed, and to rehabilitate the problem areas for further urban and agricultural expansion (e.g., using windbreaks, revegetation, agricultural irrigation, and drainage improvements). Interestingly, the artificial and more permanent lakes were created using lessons learned from the subsidence problem. High rates of pumping consolidated the clays and lowered the old lake bed by about 4 meters in places. The reuse component of the Texcoco plans include the construction of a facultative lagoon wastewater treatment system, and reclamation of the collected stormwater for agricultural irrigation. Thus, the potable water currently used for this purpose will be replaced.

Reclaimed wastewater has been added to recreational impoundments within the Federal District through several reuse projects. A portion of the treated wastewater from eight of the Federal District's wastewater treatment plants is used for this purpose. One of the more significant projects is using reclaimed municipal wastewater to improve the lacustrine ecosystem of the historic canals of Xochimilco.

Artificial ground water recharge has been practiced in the region since 1943 as a method to alleviate flooding, and this is still an important consideration. Early projects involved runoff retention and surface spreading, channel modification, and infiltration wells. Many of these projects were done in the highly permeable basalt of the upland areas and achieved very high rates of infiltration during periods of heavy rains. Artificial recharge using injection wells was first developed in the Federal District around 1953. Water injection rates were reported to be 0.1 to 0.3 cms; however, the source or quality of the recharge water in these early projects was not measured, and half of the wells

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

were subsequently closed due to operational problems. In 1970, a series of approximately 56 wells was developed for the purposes of disposing of stormwater. These wells were capable of handling up to 35 cms of water collectively. Although the wells were not designed for recharge purposes, the stormwater possibly reached the aquifer. The Federal District is also developing a system of ditches along a slope of the Magdalena Contreras hills with the intention of collecting stormwater and promoting natural infiltration.

The Federal District constructed two pilot treatment plants in 1983 to study the potential for the advanced wastewater treatment of secondary effluent for potable reuse, and to examine the potential for treating contaminated ground water. Based upon results of the experimental treatment plants, a new treatment facility was constructed, with a capacity of 0.3 cms, and designed for both ground water treatment and direct potable reuse. The established goal of the reuse project was to blend the reclaimed wastewater with treated ground water and add it directly into the distribution system (Espino et al., 1987). Currently, the reclaimed wastewater is being used for non-potable purposes.

The Texcoco Project is currently carrying out studies on indirect potable reuse of reclaimed wastewater through artificial recharge of the aquifer using secondary and advanced treatment of municipal wastewater. The final effluent may be used in either infiltration ponds or injection wells. In a separate program carried out by the Federal District, a pilot-plant scale study is injecting advanced treated water directly into the aquifer at a rate of up to 0.05 cms. Monitoring wells are used to gauge changes in water quality and pressure levels.

A recent report of the National Research Council (1994) concludes that artificial recharge with reclaimed municipal wastewater "...offers particularly significant potential for non-potable uses," and can "...reduce demands on limited fresh water supplies at minimal health risk." If artificial recharge is considered for indirect potable uses, the health risks may be greater and public acceptance is less certain. In either approach, but especially where potable reuse is considered, careful pre-project study and planning are required.

The reclamation of municipal wastewater for possible direct potable reuse, i.e., "pipe-to-pipe," has been researched in the United States and elsewhere in the world using experimental facilities. Although these experimental facilities have demonstrated the potential for direct potable reuse, there has been only one full-scale facility, in Windhoek, Namibia, where reclaimed wastewater was used directly to supplement the existing water supply source (Odendaal and Hattingh, 1987).

Although the Windhoek reclamation plant demonstrated that direct potable reuse is feasible, the long term effect of direct potable reuse on human health remains a question and thus, a concern. The potential health effect of a lifetime exposure to various chemicals that might be found in reclaimed wastewater has yet to be determined. Another major concern is the possible presence of unknown

trace quantities of organic compounds in untreated wastewater which have defied analytical determination and which may not be removed by today's technologies. For these reasons and perhaps others, e.g., lack of public acceptance, direct potable reuse of municipal wastewater should be approached with caution and as a result, should probably be considered the least desirable option to solving a water shortage problem. See AIC-ANIAC (1995) for further water reuse guidelines and examples.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

5

Water Quality and Health Concerns

VULNERABILITY OF THE AQUIFER

Given the tremendous size and population of the Mexico City Metropolitan Area (MCMA) and its dependence on the aquifer for almost three-quarters of its drinking water supply, the protection of ground water quality is of utmost concern. Wastes from domestic, industrial, and commercial activities contain a variety of human pathogens and toxic contaminants that may pose a hazard if not properly managed. The potential for these contaminants to leach into the ground water depends on many factors, such as the composition of soils and geologic materials, the depth of the water table, the recharge rate, and environmental factors that can influence the mobility or degradation of contaminants (National Research Council, 1993). In the MCMA, these characteristics differ among the three major hydrologic zones—the lacustrine zone of the valley floor, the transition zone in the piedmont region, and mountain zone (the hydrogeological character of these zones is discussed in [Chapter 3](#)).

The transition zone is of particular concern because of the combination of natural permeability, the rapid urban growth, and the increase in the number of water supply wells pumping water from this area. Problems with land use include a large proportion of settlements without sewage collection, unlined drainage canals carrying untreated domestic sewage and industrial wastewater, unlined solid waste landfills, and poorly controlled storage and disposal of hazardous waste (Mazari and Mackay, 1993). The mountain zone is not urbanized to the same extent as zones of the lower elevations. However, human settlements on the mountain slopes increase the potential for contamination.

Until recently, Mexican authorities had believed that the lacustrine clays, which underlie much of the urban area, formed an impermeable, protective layer that prevented downward migration of contaminants. However, depressuring and consolidation of the clay layers have led to the development of fractures that can accelerate downward migration of contaminants (Alberro, 1993; Rudolph et al., 1991; Pitre, 1994). Since at least the 1940s, the flow gradients have been downwards towards the heavily pumped areas in contrast to the historic, artesian conditions (Carrillo, 1948). Modeling results and field studies at selected sites show that compounds have migrated a longer distance in the clays than would have been predicted based on a homogenous clay formation, supporting the hypothesis that contaminants are moving along fractures (Rudolph et al., 1991).

While these studies have shown downward migration of contaminants and the potential for ground water contamination, no studies have yet determined if these contaminants have actually reached the main aquifer in exploitation. A recent study in the heavily pumped Chalco plain (Ortega et al., 1993) found significant consolidation of clays, and the authors concluded that subsidence will continue with the release of salts and other soluble chemical constituents from the clay aquitard into the main aquifer below. Ortega and co-workers concluded that a better understanding of the aquifer's response to different pumping scenarios would be required for protection and long-term management of the aquifer.

The lack of wastewater treatment and the practice of using open ditches to carry untreated sewage is widespread in Mexico and the rest of Latin America (Pan American Health Organization, 1990b; Cech and Essman, 1992) and is a general concern for public health. The MCMA generates an estimated 44 cms of wastewater (Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993) and according to the Federal District, more than 90 percent of industrial liquid wastes are discharged into the sewer system (Lesser y Asociados, S.A., 1993). The combined sewer system transports wastewater and rainfall runoff through a primary network 1,212 km long and a secondary network 12,326 km long. The new deep drainage system penetrates below the clay aquitard in some places and intercepts the main aquifer. During periods of heavy rain, wastewater exfiltrates from the deep tunnels into the surrounding subsoil and can create problems in many locations within the lacustrine zone where protection from the clay layer is no longer effective. Unlined canals pose an additional risk of underground water contamination, particularly in the transition zones where the soil is highly permeable (Mazari and Mackay, 1993).

There are many abandoned wells in the area, some of which are open near the surface or otherwise poorly sealed. Many are located close to unlined drainage canals that contain untreated domestic and industrial wastewater. These abandoned wells may provide an alternate and more direct route for contamination of the water supply aquifer from the surface.

The MCMA is the most important industrial zone in Mexico, and contains about 45 percent of the nation's industrial production. According to the National Institute of Nuclear Investigations, the amount of hazardous waste generated in the Federal District is about 3 million metric tons per year, of which more than 95 percent are process effluents or treated effluents discharged to the municipal sewage system. The remainder, or some 150,000 tons, are solids, most of which are sent to municipal waste dumps or to illegal dumps. In addition to the wastes currently generated, there are about 40 million tons of old hazardous wastes produced since the 1940s, when the area's industrialization sharply increased. While the Federal District contains records on the number and types of industries, the other states in the Basin of Mexico—Mexico, Hidalgo, Tlaxcala, and Puebla—do not (see AIC-ANIAC, 1995 for more details).

While there have been investigations on the type of contaminants produced at different facilities, and on the migration of contaminants in the subsoil of the MCMA, the committee has not been made aware of any studies examining the geologic formations of the main water supply aquifer which could confirm contamination of the water supply from industrial sources.

The production and management of hazardous wastes are regulated by the 1988 General Law of Ecological Balance and Environmental Protection. This law imposes restrictions and controls on producers of hazardous wastes, requires registration and permits of affected companies, documentation of industrial processes, and management requirements. Notwithstanding the provisions of the law and regulations, the actual practice of hazardous waste management in the MCMA is seriously compromised by the lack of facilities for recycling, treatment, or disposal of such wastes. Two companies in the metropolitan area are authorized for recycling of specific types of wastes. No disposal sites in the Basin of Mexico are authorized to receive hazardous materials.

Another water quality concern is the risk from pesticide application on agricultural lands. While there is no reliable information on the extent or severity of water contamination caused by pesticides in Mexico, the Pan American Health Organization (1990a) has identified several river basins where pesticides may be a problem, including the Lerma River Basin that supplies part of the drinking water to Mexico City. Pesticide residues have been detected in human adipose tissue in samples from the Mexico City population (Albert et al., 1980). Human exposure to pesticides occurs more readily through direct consumption of agricultural products or by runoff from agricultural fields that may contaminate surface waters used as drinking water sources (National Research Council, 1993). However, the leaching of pesticides through the subsurface into ground water is another potential pathway for contamination.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

MONITORING AND SANITARY CERTIFICATION

The Ministry of Health is responsible for certification of the quality of water intended for human consumption, and has promulgated a set of standards covering requirements for water supply systems, transportation of drinking water, and sampling procedures. As a result, the quality of drinking water in the MCMA is monitored for inorganic chemicals, organic chemicals, and bacteriological and physical parameters. The water department of the Federal District maintains a Central Control Laboratory at Xotepingo that performs all water quality analysis for the Federal District. The laboratory has established a system of monitoring and water quality analysis to evaluate water supply installations such as wells, treatment plants, pumping stations, and storage tanks. Water is also sampled at household taps within neighborhoods of the 16 counties of the Federal District.

Analysis of drinking water quality is performed at one of four monitoring levels, depending on the types of water quality problems anticipated. The most basic sampling is called Level A which is used to detect bacteriological contamination and to yield information regarding free chlorine residuals, acidity, electronic conductivity, temperature, and turbidity. Level 2A additionally samples minimum physical and chemical characteristics prevalent in the Federal District and include total alkalinity, chlorides, color, oxygen demand, total hardness, and ammonia nitrogen. Level 3A monitoring fulfills the requirements for drinking water standards established by the Ministry of Health (Table 5.1). These standards include the additional parameters of chlorine, calcium hardness, magnesium hardness, fluorides, total dissolved solids, nitrates, nitrites, organic nitrogen, sulfates, methylene blue active substances, potassium, sodium, aluminum, arsenic, barium, cadmium, copper, cyanide, iron, lead, magnesium, manganese, mercury, nickel, silver, selenium, and zinc. Level 4A is an intensive sampling procedure where site-specific problems are suspected, and where sampling may include synthetic organic compounds, biological and chemical oxygen demand, radon, and other human pathogens. The application percentages of these levels of analysis in 1992 were 70 percent A samples, 15 percent 2A samples, 10 percent 3A samples, and 5 percent 4A samples.

Comparable water quality data is monitored by the State of Mexico's water and sanitation commission (*Comisión Estatal de Agua y Saneamiento*). The State of Mexico, however, does not have as high a level of infrastructure or personnel as does the Federal District for water quality monitoring (see AIC-ANIAC, 1995).

QUALITY OF THE WATER SOURCES

Ground water quality in the MCMA varies, and some of this variation is due to characteristics of the region's geologic formations. Water from the superficial

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

TABLE 5.1 1991 Standards Developed by the Ministry of Health Used for Certifying the Quality of Drinking Water for Human Use.

Parameters	Standard ^a
Aluminum	0.20
Arsenic	0.05
Barium	1.00
Cadmium	0.005
Calcium Hardness, as CaCO ₃	300.00
Chemical Oxygen Demand	3.00
Chromium (VI)	0.05
Copper	1.50
Cyanide	0.05
Fluoride	1.50
Iron	0.30
Lead	0.05
Magnesium Hardness, as CaCO ₃	125.00
Manganese	0.15
Mercury	0.001
Nitrates, as N	5.00
Nitrites, as N	0.05
Selenium	0.05
Sulfate	250.00
Total Alkalinity, as CaCO ₃	400.00
Zinc	5.0
Carbon-Chloroform Extractables	0.30
Carbon-Alcohol Extractables	1.5
Organic Nitrogen, as N	0.10
Phenols	0.001
Color, Pt-Co Units	20
Free Chlorine (overdosed water)	0.20
	1.00
Methylene Blue Active Substances	0.50
pH	6.9–8.5
Taste and Odor	No Obj.
Turbidity, NTU (silica scale)	10
Fecal Coliforms, MPN, no./100 ml	0

^aMilligrams per liter unless otherwise indicated.

Published in Articles 211–213 of the General Health Law, *Ley General de Salud. Diario Oficial de la Federación el 14 de junio de 1991.*

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

lacustrine clays is of very poor quality due to its high concentration of dissolved salts (from 1,000 up to 130,000 milligrams per liter, Rodriquez, 1987). For this reason, all production wells that provide water for potable purposes currently draw from deeper than 400 meters in order to tap the higher quality water from the main aquifer. Nevertheless, some intrusion of saline waters into the main aquifer has been documented (Lesser-Illades et al., 1990). Salts and total dissolved solids in production wells generally increase from the foothills toward the center of the plain, correlating to where salinity increased in the old lakes. Elevated concentrations of sulfur, iron, and manganese, derived from volcanic geology of the region, have been detected in specific areas (Bellia, et al., 1992). Although not a serious problem, wells have been closed in the few locations where inorganic chemical concentrations are higher than the water quality standards (SARH, 1988).

The Federal District's Central Control Laboratory at Xotepingo has identified and mapped additional ground water parameters that indicate the potential for organic and/or biological contamination. As of 1993, testing at the well head revealed areas of non-compliance with color, total solids, ammonia, organic nitrogen, nitrates, chemical oxygen demand, and hardness. These problems tend to be localized in the eastern section of the Federal District and in portions of the surrounding well fields as shown in [Figure 5-1](#). During the same period, water quality standards were not met for physical/chemical constituents in 31 percent of the wells, or for bacteriological properties in 21 percent of the wells. In some of these locations where these water quality problems have been detected, additional treatment—including oxidation, filtration, and activated carbon adsorption—is performed at the well head as part of a pilot program; otherwise, the wells are closed if a public health threat is indicated.

The State of Mexico reports that 23 percent of its 242 water supply wells for its service area do not meet the standards for coliform bacteria, and 11 percent do not meet the standard for inorganic constituents. An increase in concentration of hydrogen sulfide has been reported from 21 wells, although there is no standard for hydrogen sulfide.

Information on surface water quality, as provided by the Federal District and the National Water Commission, indicates that the major surface water sources for the MCMA—Cutzamala River, Magdalena River, and Madin Dam—are of generally acceptable quality except for high levels of fecal coliform in the Cutzamala River (AIC-ANIAC, 1995). As described in [Chapter 4](#), these surface water sources undergo chemical coagulation, filtration, and chlorination. Ground water is normally treated only by chlorination. Thus, all water is at least disinfected. Surface water from many small springs contributes 0.7 cms to the MCMA water supply. Testing reported by the Federal District in 1993 indicated that a high proportion of springs did not meet water quality standards for physical/chemical constituents (38 percent) or for bacteriological

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

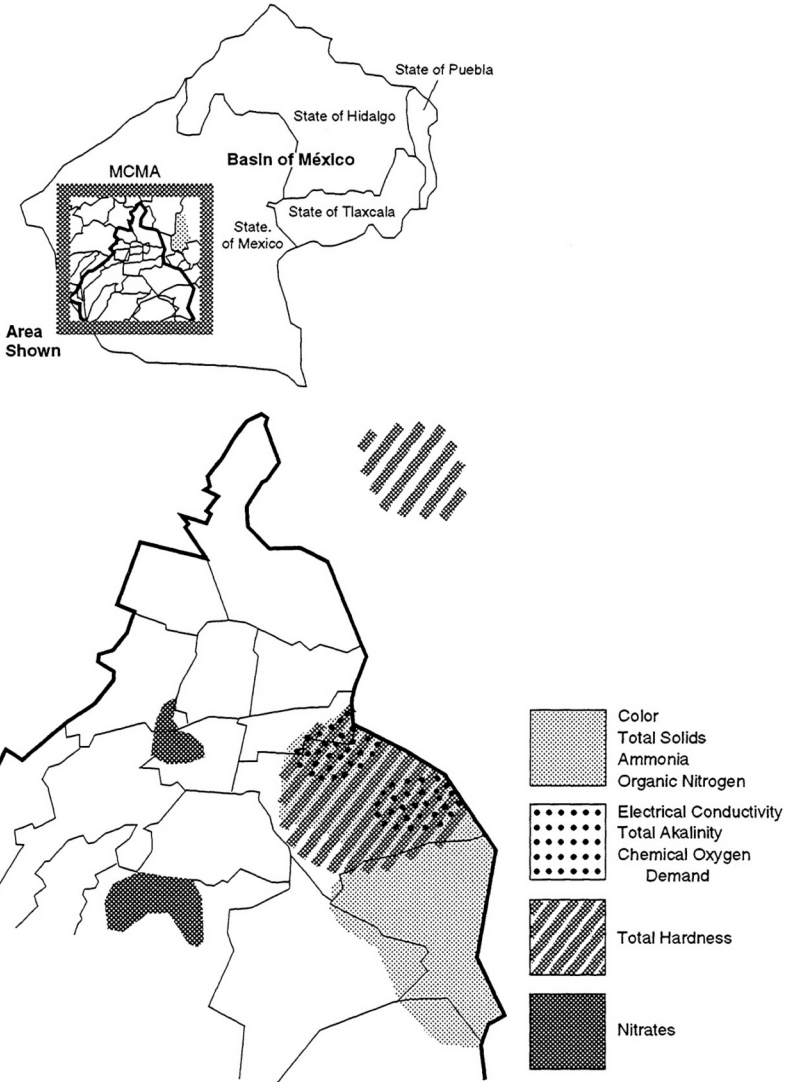


FIGURE 5-1

Well field areas supplying the Federal District where water quality testing indicates particular parameters are not in compliance with water quality standards. Source: Federal District's Central Control Laboratory at Xotepingo.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

properties (76 percent). Information was not available on whether these sources from surface springs receive treatment other than disinfection with chlorine.

WATER QUALITY IN THE DISTRIBUTION SYSTEM

The Federal District's Central Control Laboratory at Xotepingo analyzes the water quality within the distribution system by sampling at certain hydraulic installations (entrance points for water delivered to the distribution system, pumping stations, and system storage tanks). Sampling is also performed at household taps at designated street crossings in 1,270 neighborhoods within the 16 counties. [Table 5.2](#) shows the percent of household tap samples in compliance with the residual chlorine standard (0.2 milligrams/liter) among the 16 counties of the Federal District. Compliance ranged from 87 to 100 percent and was notably low among southeastern counties (Iztapalapa, Tláhuac, and Xochimilco).

Testing of water where it first enters the distribution system indicates potential microbiological contamination at four entrance points in the East and South service districts (refer back to [Figure 4–2](#)). Average sampling in 1993 reported to the committee by the Central Control Laboratory showed elevated color at Cerro de Estrella and Metro Cubico; high organic nitrogen at La Caldera and relatively high levels of turbidity at Metro Cubico and Xotepingo. There are 326 re-chlorination stations within the distribution system. This additional disinfection step apparently accounts for the percent compliance being as high as it is at the neighborhood level ([Table 5.2](#)).

The State of Mexico also monitors its drinking water quality within the distribution system and at household taps; although sampling is performed less intensively than in the Federal District. Household tap water samples in the 17 metropolitan counties were analyzed in 1993 for the presence of residual chlorine. The presence of chlorine residual was less than 90 percent in 12 of the counties, with some counties reporting as low as 16.6 and 47.3 percent of samples with detectable chlorine ([Table 5.3](#)). According to the State of Mexico water authorities, water quality deterioration in general at consumer taps is attributed to infiltration of poor quality water from the surrounding media into a leaky system, and from precipitation of salts (mainly from calcium, magnesium, iron, and manganese) in the distribution lines.

Leaks in the distribution system are a major cause of concern for both water quality and water supply. When the soil is permeated by sewage from leaking sewers or from other sources, such as unlined canals carrying sewage, then leaky pipelines will be infiltrated with contaminated water when pressure is low. According to the Federal District's water quality laboratory, neighborhoods that experience more frequent interruptions in service have poorer quality water compared to neighborhoods with a constant supply.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

TABLE 5.2 The Percent of Household Tap Water Samples That Meet the Standard for Chlorine Residual (0.2 milligrams per liter) Among the 16 Counties in the Federal District. Results are averages for 1993 as reported by the Federal District Central Control Laboratory at Xotepingo.

Federal District Counties	Number of samples	Percent compliance for chlorine residual
Alvaro Obregón	7,060	95
Atzacapatzálco	5,520	99
Benito Juárez	3,107	96
Coyoacan	6,979	97
Cuajimálpa	1,337	97
Cuauhtemoc	2,555	96
Gustávo Madero	12,419	94
Iztacálco	3,572	96
Iztapalapa	19,210	87
Magdalena Contreras	1,709	93
Miguel Hidálgo	2,952	95
Milpa Alta	1,110	95
Tláhuac	4,023	87
Tlalpan	4,148	95
Venustiano Carranza	3,414	95
Xochimilco	4,215	89

Source: AIC-ANIAC, 1995.

Rivera et al. (1979) conducted the first independent study of the presence of human pathogens in tap water in the Federal District and found 10 out of 25 samples containing one or more of the active forms of pathogenic organisms. A more recent study of the bacteriological quality of water entering a Mexico City hospital (Juarez, et al., 1992) found that up to 90 percent of the samples were unacceptable based on either chlorine concentration or total coliforms.

The irregularity in water supply makes household water storage tanks a necessity. These water tanks, or *tinacos*, are common on almost all household rooftops and are used to store water when water pressure in the system is inadequate. In many instances, the tanks are open and not cleaned regularly, permitting the residual chlorine to dissipate and encouraging the growth of microorganisms. Microbiological contamination of the household water tanks may be due to contamination at the well head, infiltration of contaminants in the leaky water distribution system, or contamination by airborne microorganisms in those storage tanks that are left uncovered and exposed (Rivera, et al, 1994). The standard levels of chlorine (0.2 milligrams/liters) maintained in the distribution system as it reaches the customer's tap are not sufficient to inactivate

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

microorganisms that may have entered the pipelines. The value of maintaining a chlorine residual is to prevent the growth of slime in the system and, more importantly, to be a marker as to whether recontamination may have occurred. Recontamination can use up the chlorine residual. Therefore its absence is a cause for concern.

TABLE 5.3 The Percent of Household Tap Water Samples with Detectable Chlorine Residuals Within Metropolitan Counties of the State of Mexico. Results are averages for 1993.

State of Mexico Metropolitan Counties	Percent of samples with a detectable chlorine residual
Atizapan de Zaragoza	81.4
Huixquilucan	89.4
Naucalpan	88.9
Nicolás Romero	80.9
Tlalnepantla	89.8
Cuautitlán Izcalli	76.1
Cuautitlán	16.6
Coacalco	100.0
Tultitlán	55.8
Ecatepec	96.7
Nezahualcóyotl	97.4
Tecámac	93.7
Chicoloapan	100.0
Chimalhuacán	83.3
La Paz	47.3
Chalco	56.0
Ixtapaluca	72.2

Source: AIC-ANIAC, 1995

Wastewater delivered by the Grand Canal is used to irrigate 5,500 hectares in the Chiconautla area. Outside the watershed, part of the raw wastewater is used to irrigate about 80,000 hectares of farmland in the State of Hidalgo, a practice that has evolved since 1934. Protection of public health is managed through crop restrictions rather than wastewater treatment. In 1991, the Urban Development and Ecology Ministry (SEDUE), in coordination with the Health Ministry (SSA) and the Agriculture and Hydraulic Resources Ministry (SARH), established a standard that prohibits the use of untreated wastewater on crops which may be eaten raw or ones that are grown on the surface of the ground. However, irrigation with untreated wastewater may still pose health problems (Shuval, 1986), and irrigation with treated wastewater must be carefully controlled. As an example, a study in the Xochimilco region, south of Mexico City,

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

identified significant levels of fecal coliform bacteria in the soil and on leafy vegetables. Irrigation comes from the Xochimilco canals that receive treated wastewater, but the 10 kilometer open canal is subject to contamination from adjacent farms and human settlements (Sepulveda et al., 1987).

In addition to direct exposure to raw sewage in open canals, humans can be exposed to airborne dried fecal dust in areas where raw sewage can dry out. This dust may become suspended as air-borne particles and may contain free-living protozoa. Although most protozoa isolated from air-borne particles are non-pathogenic, there have been air-borne pathogenic protozoa identified in specific locations in the metropolitan region (Rivera et al., 1994).

WATER-RELATED HEALTH CONCERNS

Infectious gastro-intestinal diseases are the major water-related health concern in the MCMA, as well the rest of the country. Children are especially vulnerable to these diseases, which often result in acute diarrhea and sometimes death from dehydration. In 1991, the acute diarrhea rate in all of Mexico was 3,233 illnesses per 100,000 inhabitants; 46 percent of these cases occurred in children less than 5 years old. In 1991, census data reported that infectious intestinal diseases are the second leading cause of infant mortality nationwide with a mortality rate of 278.4 per 100,000. It is the third leading cause of infant mortality in the State of Mexico and fourth in the Federal District (mortality rates are 450 and 156.7 per 100,000 respectively; INEGI, 1991a). Acute diarrhea is prevalent in the MCMA, and some areas show higher incidence and mortality than others. Figure 5–2 (a and b) shows incidence of diarrhea disease (morbidity) and mortality rates in the general population by the 16 counties in the Federal District and in 12 of the 17 counties in the State of Mexico. Average sickness and mortality rates are most elevated in the more rural, southeastern jurisdictions of the Federal District (Milpa Alta and Tlahuac) and in many of the more rural counties in the State of Mexico. As explained in Chapter 6, many of these same areas have generally lower access to in-house piped water (see Figure 6–1). Due to the administration of oral rehydration therapy, mortality from diarrheal diseases has dropped over the past decade. However, such treatment does not address the cause of diarrheal diseases.

Protozoa parasites, including *Giardia* and *Entamoeba histolitica*, are prominent causal agents of diarrhea. Amoebic dysentery, which is endemic in Mexico (Pan American Health Organization, 1990b), is transmitted by the cyst form of *Entamoeba histolitica*, often by fecal-contaminated drinking water (McFadzean and Pugh, 1976). The normal level of chlorine has little or no effect on encysted amoeba (Rose et al., 1991). *Giardia* infections in young chil

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

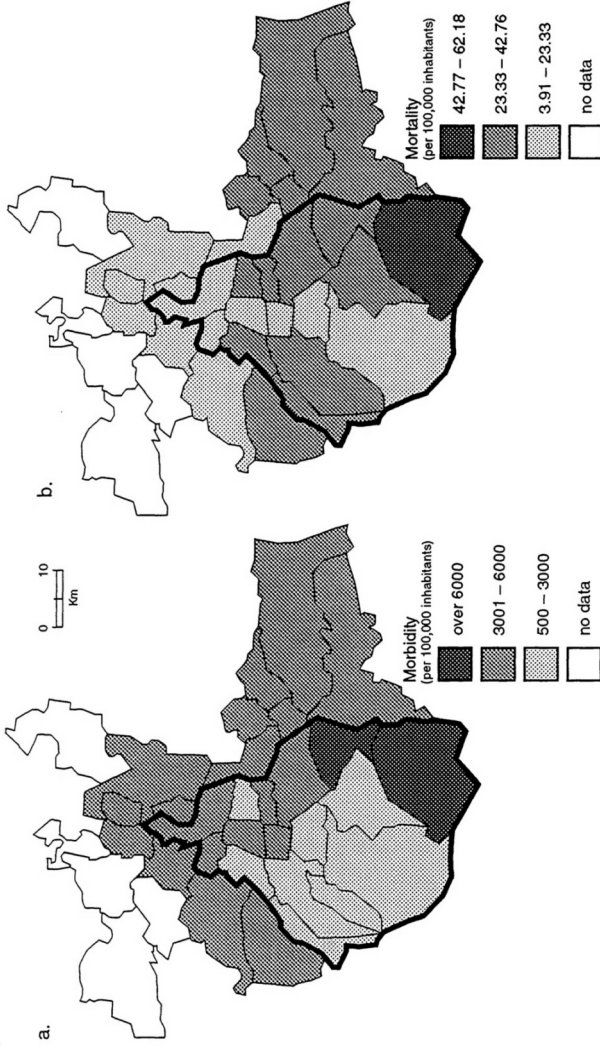


FIGURE 5-2

Morbidity (a) and mortality rates (b) due to acute diarrhea in the general population by county in the Mexico City Metropolitan Area. Data was collected by sanitary jurisdictions, which do not correspond exactly to counties in the State of Mexico. For this reason, “no data” is indicated for five counties. Source: INEGI, 1991a.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

Mexico City include *Balantidium coli*, *Naegleria fowleri*, and species of *Acanthamoeba* (Rivera et al, 1978; 1983; 1984; 1986). Exposure to pathogenic species of *Naegleria* and *Acanthamoeba* can cause disorders of the central nervous system and even death, especially in young children (*Naegleria*). The pathogens are believed to be acquired through the nose while swimming. Children playing in the water are particularly at risk. For this reason, authorities should ensure that waters destined for recreational use receive proper treatment.

A great variety of enteric viruses may be ingested with non-potable water, including subgroups of polioviruses, coxsackie viruses, echoviruses, and infectious hepatitis viruses. These viruses can cause respiratory, gastro-intestinal, and central nervous-system disorders. Infectious hepatitis produces liver diseases, and Hepatitis A is probably endemic in Mexico (Cech and Essman, 1992). In 1986, two large outbreaks of acute hepatitis occurred in the State of Morelos, south of Mexico City, in areas without public water or sewer service. This was the first documented epidemic of water-borne, non-A, non-B hepatitis in Latin America (Okun, 1991).

Of all the diseases known to cause diarrhea, the bacteria that causes cholera, *Vibrio cholera*, is known for its most severe symptoms. In 1991, cholera outbreaks occurred in Peru and spread to most other Latin American countries. In Mexico, there were 2,690 cases, of which a small percentage (2–3 percent) occurred in the Mexico City Metropolitan Area (Craun et al., 1991). Other bacteria of health significance transmitted by polluted water (and food contaminated with polluted water) include *Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter foetus*, *Yersinia enterocolitica*, and *E. coli* (Sarti-Gutierrez et al., 1989; Castro, 1991)

Cryptosporidiosis is one of the most serious of all microbial diseases because it can cause infection at a very low dose, survives well in water environments, and may be resistant to levels of disinfection generally applied to drinking water (Rose, 1993). As evidenced by the outbreak of more than 400,000 cases and more than 100 deaths in Milwaukee in April, 1993, contamination can occur even though drinking water regulations are not exceeded (Fox, 1993; Rowan, 1993). No known drug therapy is currently effective for this infection (Soave, 1990), and people who have immune system deficiencies, such as AIDS patients, infants, and cancer patients, are particularly at risk. Because of its similarity to other diarrheal diseases, Cryptosporidiosis will not show up separately unless an effort is made to find it and thus data on its occurrence is scarce.

Morbidity and mortality from waterborne infectious disease may be lower among industrialized countries than in other developing countries, but these risks persists and may be more important than previously realized even in highly industrialized countries (Craun et al., 1994a). While much waterborne disease is associated with contaminated water sources and inadequate water treatment, protection of water quality during its distribution to the customer is of equal importance.

Health Concerns from Toxic Chemicals

In addition to the problems typical of developing countries, such as high prevalence of infectious diseases caused by fecal pollution, Mexico is experiencing problems facing industrial societies (Pan American Health Organization, 1990a, 1990b). Toxic chemical contamination of water, as well as air, soil, and food, are on the rise in Mexico. Chemicals of concern are nitrates, toxic metals and other inorganic pollutants, assorted volatile and semi-volatile organic solvents, agricultural pesticides, herbicides, and radio-chemicals. Toxic leachate from improperly disposed chemical wastes, leaky underground storage of industrial and energy-generating products, rainwater contaminated by air pollution, agricultural runoff, and mining wastes, are all potential contributors. Some chemicals could cause acute or chronic toxicity. Others can be genotoxic, producing carcinogenic, mutagenic, or teratogenic effects. According to the Pan American Health Organization (1990a), cancers are beginning to emerge as increasing risks in Mexico and other Latin American countries; although, they remain overshadowed by mortality from communicable diseases.

The by-products of chlorine disinfection (e.g., trihalomethanes) in finished water have been a subject of health concern in industrialized countries. Trihalomethanes are one of many by-products formed when water containing organic compounds is chlorinated for disinfection purposes. The issue of the balance between the risk of disinfection by-products (which are low-level, long-term risks) and the risk from infectious microorganisms continues to be examined (see for example, International Life Sciences Institute, 1992, Craun et. al, 1994b). In the face of continued high infant mortality rates from water-borne disease in Mexico, the risks of chronic disease from disinfection by-products are a relatively low priority.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

6

Water Demand Management

Water quality problems and water supply limitations in the Mexico City Metropolitan Area (MCMA) are principally driven by population growth and macroeconomic and regional economic trends, most of which are far beyond the control of local water planners. Land use planning will also play a role in the growth of the region (see Garza 1987, 1989, for reviews). Aggressive efforts are now being made to protect the aquifer recharge areas and the remaining open space in the interior from further encroachment, but efforts to control growth at the urban periphery will likely remain difficult. While these large social issues are beyond the scope of this report, it is clear that the costs of bringing in new water supplies to the MCMA verge on the prohibitive for the foreseeable future—especially if the actual costs of water and the third party effects of its transfers are considered. It is also clear that the full cost of urban water use must include the cost of developing sewerage systems and wastewater-treatment facilities¹.

¹ It was not the intent of this report to go beyond the collection of readily available, secondary data for purposes of a general discussion of water demand management in the MCMA. Information required for demand forecasting is outside the scope of this work. The report is designed to serve as a bridge to assist the Mexican government with the generation of data for implementing the recommendations proposed. As a transnational study, it was not the desire of the committee to instruct the government of Mexico in their social policies with respect to water. Rather, this document points

This chapter looks at three less familiar but no less fundamental problems: (1) the neglect of conservation policies in water-sector planning, (2) the crippling financial problems associated with traditional tariff and billing practices, and (3) the uneven and often inadequate access to good water by the poor throughout the region. While these problems tend to be behavioral rather than technical in nature, the solutions proposed in this chapter are straightforward and feasible, and can be described as demand management. Demand management has two core components: (1) conservation to sustain available supplies, and (2) cost recovery. Demand management is complementary to engineering solutions that seek to augment water supplies; it ensures that available water is used efficiently and equitably. Demand management is not a reaction to a crisis situation; instead, it is a tool that can be applied under all circumstances.

However, demand management strategies may be unpopular because they make transparent the actual price of water by revealing the true distribution of costs and benefits of heavily-subsidized consumption. Consequently, water rates in most metropolitan cities tend to lag well behind actual costs because local governments fear adverse political reactions. Demand management policies are therefore rarely implemented unless the situation becomes dire, as it now is in the MCMA.

PROBLEMS AND PRIORITIES

The recognition of the problem of meeting rising demands for water at an acceptable quality level is hardly new in Mexico. Buenfil (1993) identified the major water supply issues as: water conservation, cost recovery and financial soundness of the water company, household and social equity, unaccounted water-supply losses, and the need for information. In many respects, cost recovery is a more pressing concern than conservation. Historically in Mexico, high water subsidies have allowed access to unlimited quantities of water at artificially low cost. Because industries consume large amounts of water, these subsidies have served to encourage industrial development within the MCMA. Hence, subsidies led to greater consumption and have contributed to water scarcity. This situation is not unique to Mexico, as low cost water has, until recently, been a common arrangement worldwide. Water subsidies have always been popular when governments wished to promote local economic development. Subsidies have also been defended as anti-poverty policies.

Given the general scarcity of all public revenues, the historical levels of water-sector subsidies are no longer available. Water authorities realize that they must look to their customers for the funds to maintain the existing level of

up new directions that may be taken to ensure that the water supply is maintained on a sustainable basis while ensuring efficiency and fairness in its allocation.

service, and to invest in its future. Over \$1 billion per year is spent subsidizing water and sanitation services in the Federal District or roughly \$125 per person (World Bank, 1992). Only \$0.10 is collected per cubic meter of water in the Federal District—considerably less than some other cities in Mexico. The low price for water in the Federal District persists despite the fact that the marginal cost of supplying water to the MCMA is estimated at about \$1.00 per cubic meter, among the highest in the nation (World Bank, 1992). Monterrey, for instance, collects \$0.37 per cubic meter. In the United States, Phoenix collects about \$0.25 per cubic meter (World Bank, 1992). Urban water districts in Southern California purchase imported water at about \$0.33 per cubic meter (1994 prices), and residential rates vary from about \$0.22 at the Irvine Ranch Water District, which has access to local ground water, to about \$0.46 per cubic meter for the City of San Diego, which imports nearly all its water.

While demand management strategies have been under-utilized in the past, it is important to recognize that such neglect is characteristic of water planning worldwide and, further, that major demand-side reforms are already in place in Mexico. Indeed, in some respects, Mexico is the vanguard among developing countries. Water is increasingly recognized as a private economic good, and appropriate pricing is being introduced to reduce waste and increase cost-recovery, finance expansion, and improve water systems throughout Mexico. The Federal District has initiated an ambitious program for retrofitting low-flow plumbing fixtures, and is aggressively repairing system leaks. Several new federal laws have been introduced in the past year, including a new system of effluent charges intended to finance wastewater treatment and changes in the assignment of water rights. The latter reform has allowed water regulators to begin to talk openly of water rights that can be traded in open markets. A trend toward increased private management of municipal services, under terms which maintain public ownership while introducing a measure of competition, is also apparent. These institutional changes are discussed in [Chapter 7](#).

WATER TARIFFS, USE, AND ACCESS IN THE MCMA

A rigorous analysis of water demand would include an estimate or forecast of water demands (see Piña et al., 1993, for such an approach in 30 Mexican cities). However, credible demand forecasting is a complex and technical procedure, requiring considerable original data collection (see Kindler and Russell, 1984, and Munasinghe, 1992), and is thus well beyond the scope of this review. Instead, the approach here is to profile water use in the MCMA so far as available data permit, and thus establish where conservation efforts could be most economically directed. Such a profile can also help detect which areas of the economy and region have the greatest need for improved supplies.

As noted in [Chapter 4](#) ([Table 4.1](#)), most water use in the MCMA is “domestic” in nature, followed by “industrial” and then “commercial and services.”

For conservation purposes, it is easier to begin to target broad categories of users who use large quantities of water and who are predisposed to react to conservation incentives (World Bank, 1991). The Federal District waterworks department identifies just under 60,000 “major” water users—those consuming at least 60 cubic meters per month. These include 3,107 industrial users, 16,157 commercial users, and 39,892 residential users (Departamento de Distrito Federal, 1992b).

The rate structure for commercial and industrial users was the same as for domestic users until 1991 (Bahl and Linn, 1992). Now the rate for nondomestic use is considerably higher. The rate structure adopted in 1991, an increasing block rate which charges more per cubic meter at higher consumption levels, provides metered industries with more incentive to conserve (Table 6.1).

Nondomestic users without meters, including industry, are charged on the basis of pipe diameter. For example, a bimonthly fee of \$28 is charged for pipes no larger than 13 millimeters in diameter, and the tariff increases rapidly with increasing pipe diameter, reaching \$223,078 for pipes greater than 300 millimeters in diameter (Departamento del Distrito Federal, 1992b). The highest rates are incurred by large volume users such as the Moctezuma brewery. The Federal District water works department has emphasized metering those users who consume over 240 cubic meters bimonthly (Departamento del Distrito Federal, 1992a).

Domestic users make up about 67 percent of all users, and constitute about the same percentage of the largest users. As shown in Table 6.2, domestic water rates range from about \$0.15 per cubic meter for use the lowest usage to \$1.07 per cubic meter for higher consumption (Departamento del Distrito Federal, 1992b). The increasing block structure of the tariff schedule gives incentives to conserve as the use levels rise. However, only about half of the domestic users are metered in the Federal District, many do not function, and enforcement of bill collection has been uneven. Many domestic and non-domestic users pay a flat rate for water service.

Low-income households are of particular concern because they may not have sufficient access to enough water to provide adequate health and sanitation. Unfortunately, income data linked to consumption behavior were not available for this study. The World Health Organization has established a minimum of 150 liters per day per household in the cities of the developing world; 75 liters per day per household are considered adequate to protect against waterborne diseases (Falkenmark and Suprpto, 1992). The World Bank estimates that at least 50 liters per capita per day are necessary for sanitation, in order to forestall health related problems. As noted in Chapter 5, the major cause of death among children in irregular and rural areas in Mexico continues to be diarrheal diseases. Some evidence suggests that residents of poor settlements in the MCMA use as little as 20 liters per capita (Schteingart,

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

1993). This may be sufficient for cooking and drinking, but not for maintaining a healthy environment. On the other hand, higher-income households typically consume many hundreds of liters per capita per day for discretionary purposes such as such as decorative plants, lawns, and pools, in addition to the higher uses associated with indoor flush toilets and showers.

TABLE 6.1 Water Rates for Non-Domestic (Industrial and Commercial) Users in the Federal District in 1992.

Bimonthly Consumption (cubic meters)	Cost per cubic meter
up to 30	\$0.40
from 30 to 60	\$0.67
from 60 to 120	\$0.77
from 120 to 240	\$1.00
from 240 to 420	\$1.17
from 420 to 660	\$1.40
from 660 to 960	\$1.63
over 960	\$1.87

Source: Departamento del Distrito Federal, 1992b.

TABLE 6.2 Water Rates for Domestic Users in the Federal District in 1992.

Bimonthly Consumption (cubic meters)	Cost per cubic meter
Up to 10	no charge
from 10 to 20	\$0.15
from 20 to 30	\$0.17
from 30 to 60	\$0.40
from 60 to 120	\$0.47
from 120 to 240	\$0.63
from 240 to 420	\$0.73
from 420 to 660	\$0.83
from 660 to 960	\$0.93
Over 960	\$1.07

Source: Departamento del Distrito Federal, 1992b.

Table 6.3 is a county-level breakdown of the availability of piped water sources (categorized as in-house, in-yard, neighborhood, or other public source, or no public source) from the 1990 census, the most recent year available. The

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

TABLE 6.3 Household Water Sources in the Mexico City Metropolitan Area, 1990

In-house	Number of Homes	Percent of Homes by Source of Water Supply				
		On-Site	Neighborhood	None		
Alvaro Obregón	133,937		72.6%	24.2%	3.2%	2.5%
Azcapotzalco	103,130		76.3%	22.9%	0.8%	0.7%
Benito Juárez	114,002		95.4%	4.5%	0.2%	0.3%
Coyoacán	142,533		78.7%	20.8%	0.6%	0.6%
Cuajimalpa de Morelos	23,422		55.0%	40.1%	5.0%	5.6%
Cuauhtémoc	157,079		91.9%	7.7%	0.3%	0.7%
Gustavo A. Madero	262,905		73.6%	25.5%	0.9%	1.6%
Iztacalco	93,815		75.4%	24.2%	0.4%	0.7%
Iztapalapa	294,738		62.4%	36.1%	1.6%	5.4%
Magdalena Contreras	40,247		59.3%	38.8%	1.9%	3.4%
Miguel Hidalgo	98,051		84.5%	15.1%	0.4%	0.6%
Milpa Alta	12,258		42.2%	50.8%	7.0%	17.1%
Tláhuac	39,311		39.0%	59.7%	1.2%	5.8%
Tlalpan	103,137		66.4%	30.2%	3.4%	13.8%
Venustiano Carranza	117,640		82.0%	17.7%	0.3%	0.7%
Xochimilco	52,966		55.0%	40.1%	4.9%	9.1%
Federal District Total	1,789,171		74.3%	24.4%	1.3%	3.1%
Atizapán de Zaragoza	64,990		58.6%	25.5%	0.8%	5.9%
Coacalco	32,072		89.1%	7.0%	0.4%	2.1%
Cuautitlán	9,693		66.0%	30.0%	0.9%	2.7%
Cuautitlán Izcalli	68,019		76.2%	17.5%	2.3%	2.9%
Chalco	54,155		13.7%	12.9%	1.8%	69.9%
Chicoloapan	10,749		27.2%	65.5%	2.0%	4.7%
Chimalhuacán	44,016		21.6%	56.2%	6.3%	15.1%
Ecatepec	283,413		46.8%	26.4%	1.2%	9.0%
Huixquilucán	25,392		51.5%	34.8%	2.1%	9.9%
Ixtapaluca	26,460		32.6%	35.3%	3.0%	28.5%
La Paz	25,226		39.3%	46.1%	2.0%	11.5%
Naucalpan	159,372		57.3%	39.2%	1.1%	1.3%
Nezahualcóyotl	239,951		52.3%	43.3%	0.7%	2.3%
Nicolás Romero	34,732		34.2%	46.9%	1.6%	16.4%
Tecamac	24,079		42.8%	44.5%	0.7%	11.3%
Tlalnepantla	144,366		65.3%	30.6%	1.3%	1.8%
Tultitlán	49,847		65.8%	21.5%	0.6%	11.2%
State of México	1,296,532		52.1%	32.8%	1.4%	8.8%
MCMA	3,085,703		63.3%	27.4%	1.3%	5.5%

Source: INEGI, 1991.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

Mexican census differentiates between an “in-yard” tap which is outside but on the resident's property, and a “neighborhood” spigot which is used by a number of residences. The neighborhood category also includes water-delivery trucks that provide water by the container at regular times at specific locations, and which must then be carried or otherwise transported back to the home, or may be delivered directly to homes. Those homes without access to public water sources presumably obtain their supplies from surface water, illegal wells, or private vendors. The data reveal that while 97 percent of the homes in the Federal District have some kind of access to piped water, only 74 percent have an in-house source. The bulk of the remainder rely on a yard spigot. In the metropolitan service area of the State of Mexico, roughly 52 percent of the homes reported having an in-house water source, and 33 percent rely on yard sources. Three percent of the homes in the Federal District and nearly nine percent in the State of Mexico do not have access to the public water supply.

It can be seen from [Table 6.3](#) that some of the counties in the MCMA have much lower levels of service than others. In the Federal District, for example, Tlahuac, Xochimilco, Milpa Alta, and Tlalpan stand out as areas with poorer service. Of the 17 counties in the State of Mexico service area, 7 have more than 10 percent of the households without any access to piped water, including nearly 70 percent of households in the county of Chalco. [Figure 6–1](#) shows the geographical relationship of water service in the MCMA as reported in the 1990 Census. The more poorly-served areas of the MCMA are the newly developed units, such as in the southern part of the Federal District and the eastern areas in the State of Mexico.

The reason for poorly served areas becomes clear with a consideration of the tremendous growth of the metropolitan area. [Figure 6–2](#) shows the increase in both water and sewer services in the MCMA from 1960 to 1990, and illustrates several points. First is the enormous growth in the number of homes with water service across the MCMA over the 30-year period, especially during the 1970s, when more than 825,000 homes were hooked-up to the water-supply system. During the 1980s, the State of Mexico grew 2.5 times as fast as the Federal District in terms of homes with in-house water services. Generally, the number of households connected to the sewerage system grew even more rapidly than water service during the 30-year period. [Figure 6–2a](#) illustrates the continual progress in the Federal District, in terms of the share of the housing stock with an in-home water supply, reaching more than 70 percent by 1990. The metropolitan area of the State of Mexico has fared less well by this measure, both with respect to the share of dwellings with in-house water supplies and with respect to the change in this share over time; only 52 percent of the homes in 1990 had an in-house water supply. This is a great accomplishment in light of the 17 percent served in 1960, but represents a decline from 62 percent in 1980. The most likely explanation is that the water-distribution system was unable to keep pace with the rapid population growth of the 1980s in the State

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

of Mexico. The trend for sewer service generally follows a similar pattern for the two service areas (Figure 6-2b).



Photo 6-1

A water tank or *pipa* truck filling up to deliver water to outlying neighborhoods in the Mexico City Metropolitan Area. Courtesy of Robert Farvolden.

In general, data are scarce regarding the provision of public services to the poorer households of the community who are unable to receive piped-in water. A recent study by El Colegio de México researchers (Schteingart, 1993) found widely different experiences among four irregular settlements (or *colonias populares*, two in the State of Mexico and two within the Federal District). Some of the residents were served by government tank trucks free of charge, other residents paid for a professionally installed and metered network, and others paid a flat fee. The quantity and quality of the service varied considerably, many poor residents substitute bottled water or soft drinks for drinking water instead of using piped water, an expensive, but presumably safe alternative to water supplies in which they have little confidence. Official statistics regarding the expansion of the water-supply system therefore disguise widely differing experiences.

In addition to the time and effort involved in bringing water into the home by hand, water costs are often a burden to the poor. Data on water costs by income

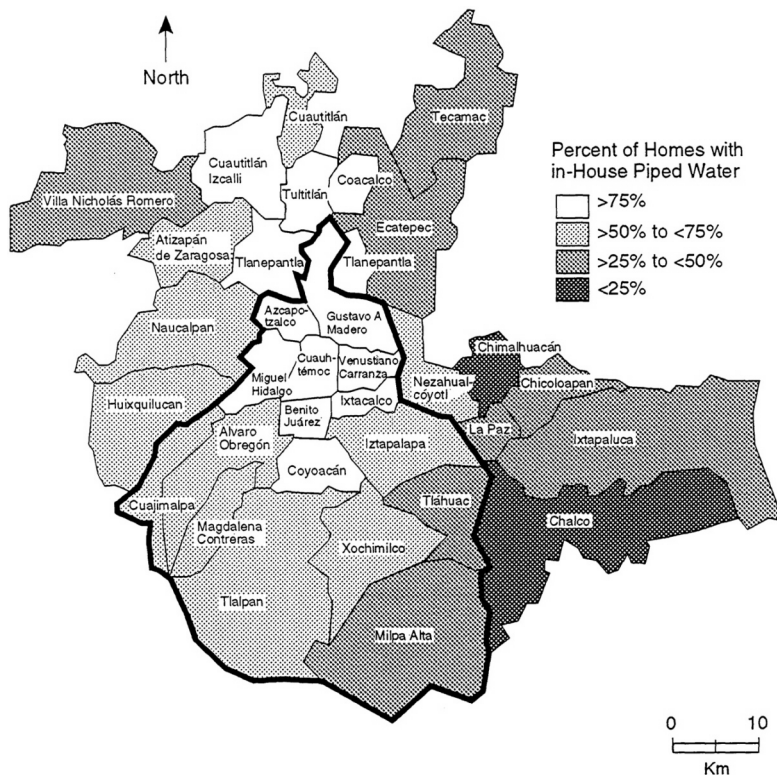
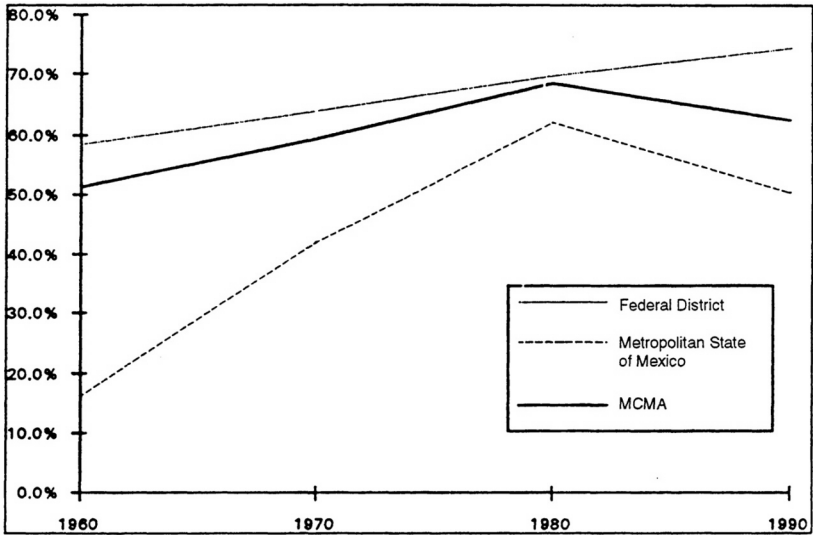


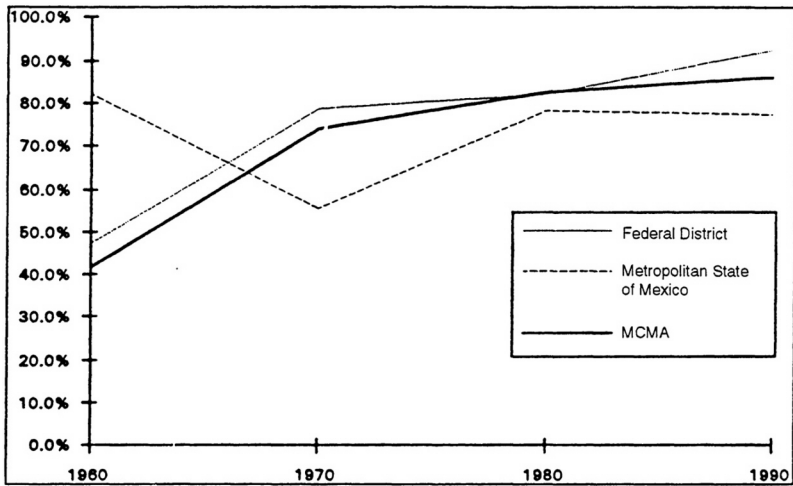
FIGURE 6-1
Share of homes with in-house water supply in the MCMA in 1990, by county.
Source: INEGI, 1991a.

group in the MCMA are not available. There is some evidence that the payment of water bills is not rigidly enforced, and that many bills go unpaid without service cutoffs (Comisión de Aguas de Distrito Federal, 1993). Nearly all studies of other major cities in developing countries find that monthly water expenses are a larger share of income for the poor than for the wealthy (Crane, 1994, World Bank, 1992). This is because water demand is relatively income inelastic, and some of the poor must purchase their water from intermediaries who add a mark up. Further study is needed to provide a fuller understanding of how expansions in the distribution system, as well as water tariff policies, affect

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.



a. Percent of homes with an in-house water supply, 1960 to 1990



b. Percent of homes connected to sewers or with septic tanks, 1960 to 1990

FIGURE 6-2

Changes from 1960 to 1990 in the percent of homes with (a) an in-house water supply, and (b) connected to sewers or with a septic system for the Federal District and the metropolitan area of the State of Mexico, and for the MCMA as a whole. Source: INEGI, 1991a.

the health and financial status of the very poor. Water that is treated and pumped, but not paid for, is one part of the problem, and system leakage is another. Due to the lack of metering, these problems are very difficult to quantify. Nevertheless, system leakage alone may amount to as much as 40 percent in the MCMA, as estimated by the National Water Commission (Comisión Nacional de Agua, 1992). Leaks can be detected by systematically metering the system, segment by segment, installing water meters in private houses, updating connection records, improving maintenance, and renovating aging installations. In the MCMA, aging infrastructure is aggravated by land subsidence caused by overpumping of ground water; the 1985 earthquake also caused considerable damage.

Leaks and unmetered water losses are now being addressed in Mexico City. Water utilities have made repairs part of their overall conservation effort. An average of 2,000 leaks in the distribution network are repaired each month in the Federal District and 1,800 in the State of Mexico (Departamento del Distrito Federal, 19901a). Further, an effort has been made to eliminate household leaks, especially in multifamily housing. Each year, approximately 150,000 leaks are eliminated inside households through water agency programs (Departamento del Distrito Federal, 1991b). Such programs include detailed brochures explaining to householders how leaks can be detected and fixed.

DEMAND MANAGEMENT TOOLS

The approach to these problems begins by recognizing that the volume of water used by any one person or business is variable. While a minimum quantity of water is required for basic health and sanitation, water use is influenced by a number of factors, many of which are under the control of the water authority. These factors include the price of water, the manner in which water use is billed, the reliability and quality of water, and the restrictions placed on its use. Although the Federal District tends to forecast water use as a fixed estimate of current per capita use multiplied by a straight-line projection of population growth (Departamento del Distrito Federal, 1992b), this approach does not give an accurate view of either household or business behavior.

The use of policy tools to control water consumption is known as demand management. In contrast to supply-side strategies, which emphasize the development of new supplies to deal with water scarcity problems, demand management is oriented toward changing the behavior of consumers.

Demand management tools can be divided into involuntary and voluntary policies. Involuntary policies are those where consumers have relatively little discretion regarding their implementation (Frederick, 1993). These are policies that directly control water use, and are generally command-and-control methods such as water rationing, the retrofitting of plumbing equipment, new construction codes, and water reuse regulations. In 1989, the Federal District initiated

a program for retrofitting large office and apartment buildings with low-flow toilets that use 6 liters of water to flush (normal toilets use an average of 16 liters). By 1991, the program had installed 330,000 fixtures, saving about 0.8 cms of water consumed. By 1996, the program is expected to reduce water consumption by 4.3 cms within the Federal District. The State of Mexico began a similar program more recently, and expects to reduce consumption within its service area by 3.7 cms (Departamento del Distrito Federal, 1991a).

Perhaps the most under-utilized means of controlling the level of water consumption in the MCMA is via indirect or voluntary tools, such as water tariffs and education campaigns. In part, this may be another reflection of the traditional supply-side orientation of the water sector planning, which has little behavior-modification content. Experience shows that significant reductions in consumption can likely be obtained by implementing rather modest reforms. With respect to tariff policy especially, attention to a few basic principles in water pricing and billing administration should reduce the demands placed on existing supplies while improving the financial health of the system.

There are three basic components of an administrative tariff policy. The first component, and perhaps the most familiar in Mexico is "cost-recovery", or the direct linkage of system expenses to revenues. Ideally, cost recovery would account for distribution, disposal, and treatment costs as well as related induced expenses (such as those due to land subsidence caused by a falling water table). However, the last of these are not usually considered as system expenses, and are disregarded in practice. In some cases, even the capital costs of the constructed facilities are ignored in favor of a tariff policy aimed merely at recovering operating and maintenance outlays. Nevertheless, this limited approach may, in many instances, be a constructive first step.

The second component of a tariff policy is demand. Demand is related to what people are willing to pay (see, for example, a discussion of contingency valuation in Whittington and Choe, 1992, and in *Natural Resources Journal*, volume 4(1), 1985 for measuring demand where hard data are not available). The question of whether consumers are willing to finance a new water-supply system is an example of linking cost to demand and is, in fact, the central question guiding policy toward infrastructure improvements in developing countries today: Is the cost justified by demand?

The third tariff consideration is equity, which refers to the fairness of the distribution of water costs across households with differing incomes. Within these constraints, the actual form of the tariff can be structured a number of ways (e.g., see Bahl and Linn, 1992). Users may be charged once to cover costs of extending the water supply to their property; they may be charged once for a connection to the system. They may be charged periodic, fixed payments related to water use but not varying directly with water use (e.g., pipe diameter), or charged periodic payments based upon actual metered use. As mentioned earlier, the pricing scheme most common in the MCMA, especially for large

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

commercial and industrial users, is a periodic fixed payment related to pipe diameter.

In addition to tariff policy, education and public awareness also have an important role to play in conservation. A well-designed public education program can achieve a substantial reduction in water demand. Unfortunately, prolific habits concerning the use of water are deep-seated in most adults. In recent years the water utility in the Federal District has established a section overseeing efficient water use, one that now has a laboratory to test the effectiveness of water-saving devices, conservation publications, and an imaginative and energetic program of fourth and fifth grade water "police" to discover leaks. There are a number of media messages in Mexico City urging care of precious water resources. In the case of the MCMA, it is not yet clear how great an impact the public information campaigns have had. The public is already subjected to many campaigns of various sorts, and the medium may be saturated. At the same time, people must understand the nature of the water problem if they are to consciously and conscientiously conserve water resources.

IMPLEMENTATION ISSUES

It is one thing to talk about a better way of doing things, and quite another to get it to work. For instance, while raising water rates will tend to discourage water waste by many users, it is not without its drawbacks. Price incentives operate only when water use is metered, and the decision of whether or not to meter is in part an administrative issue. Any tariff policy will only be effective if (1) it is administered capably, which requires a high level of competence in costing, budgeting, and bookkeeping procedures in order to make realistic cost estimates and check performance; and (2) adequate enforcement measures are applied against free-loaders. The most effective domestic water conservation programs have combined rate increases with public information campaigns that reinforce the message about the need to conserve, and with public participation to generate community support.

In Mexico City, only 53 percent of the users are metered, and not all meters function properly. Many functioning meters are apparently read on an irregular basis, and enforcement of bill collections has been uneven. Obviously, the lack of meters is an impediment to both cost-recovery and conservation. To achieve full metering, several million additional meters would have to be installed, at a total cost of roughly \$100 each. Metering, in conjunction with an effective volume-based tariff and collection system, has the potential to substantially reduce water use because consumers would have an incentive to conserve and, in particular, to avoid squandering water. Metering also allows easier detection of system leaks.

Domestic Use

Any discussion of implementation issues surrounding water management policies for households involves considerations of both equity and efficiency of water services. It is well documented that, if necessary, the poor in developing countries are both willing and able to pay their fair share for good quality water supply (e.g., Okun, 1991; World Bank, 1992; Whittington and Choe, 1992; Crane, 1994). In the large cities of the developing world where the poor have limited access to dependable sources of clean water, research has documented how they actually pay much more for water than other residents in that city (Roth, 1985; World Bank, 1992; Whittington and Choe, 1992; Ingram et al., 1995). In most cases, those who do not have good access to public water supplies would actually benefit from paying for services if it improved their access to water.

Aside from equity concerns, implementation obstacles in the domestic sector include the general resistance to water tariffs by people who are not on a metered system, and the practical difficulties associated with the proper design of block tariffs and use of metering. The unpopularity of substantially higher prices for water, and more rigorous enforcement of bill collections, are themselves institutional and administrative issues, and are most difficult to resolve for the domestic sector. In practice, setting new tariffs is a complex and delicate matter. It is axiomatic that when people are asked how much they would like to pay (for anything), they invariably prefer to pay nothing. Still, most understand that the system cannot sustain itself under such a scheme and that some, perhaps most, goods must be paid for somehow. This is increasingly true of the air we breathe, for example, in Mexico and elsewhere. To improve or even maintain the quality of air, it has been necessary to pay more for gasoline, drive less, and accept many other inconveniences and expenses. Given time, the idea of prices that cover water costs will become more acceptable, particularly once the linkage of cost to water quality and availability is understood. The task is therefore to educate the public and the politicians about this linkage. There is no question that people are willing to pay for good water—in many ways they already do, especially in areas where water is privately distributed. The issue, then, is how to teach water consumers that they have few long-run alternatives to paying the full price.

Metering also presents implementation difficulties. For example, full metering may not be advisable in all parts of the MCMA. In addition to the basic capital cost of the meter, the cost of metering is high, consisting of installation costs, the expense of regular reading, maintenance, billing, and accounting (Bahl and Linn, 1992; Buenfil, 1993). The benefits of metering must be weighed against these costs. For large consumers and business enterprises, metering will almost always be cost-effective. For small consumers in poorly developed and low-income areas, metering is probably not appropriate in the

short term. Because many of these users do not have in-house piping, overall water consumption by this section is relatively small.

Industrial Users

Experience in industrialized and developing countries alike shows that industries tend to use water more cost-effectively than other sectors of society. While industry is not a large water user compared to other sectors, industries are frequently located in urban areas where water consumption is growing fastest. The price per unit of water is normally set higher for industry than for domestic users, for reasons generally concerned with capital financing—infrastructure costs and the higher cost of treating industrial wastewater. Further, industries tend to respond readily to economic and regulatory incentives. The potential for using water more wisely and more cost-effectively by industry has been demonstrated through experience in both the industrialized and developing countries. In many cases, the increased cost of industrial wastewater treatment, or the need for industry to provide pretreatment of its wastewater before discharging it to a public sewer system, is sufficient motivation for industry to initiate a program of water conservation.

Institutional and Administrative Obstacles

Governments have a difficult time dealing with water conservation because water is generally a highly-charged political issue. Many people believe that, since water is essential to life, authorities are obliged to bring it to the population at little or no cost. Therefore, it takes real courage to raise rates and enforce the system of allocation, metering, and sanctions that lead to reducing demand (World Bank, 1991; Bahl and Linn, 1992). In addition, when supply is unreliable and people either do not receive water or water pressure is too low much of the time, they resist paying their water bills. Unless bills are paid, utilities lack the resources to repair infrastructure (see, for example, Ingram et al., 1995). Consequently, service becomes worse and the situation deteriorates in a downward spiral.

Water is an important element in regional politics. Regions and the cities within them vie with one another for growth and investment, and resist limitation of any resource fundamental to growth such as water. Population growth figures are often exaggerated so that particular regions can gain larger shares of the national budget's grants and subsidies for infrastructure development, such as water-supply systems, sewers, and highways. As investments flow to particular regions at the expense of others, migration to the better-served regions follows. Certain regions and cities become centers of power and influence, while others fade in importance. In spite of such difficulties, Mexico is striving to reverse past trends. The 1992 national budget of proposed investments in the

water sector indicates a decreasing share of the federal water budget allocated to the MCMA, while other cities and rural areas are getting more attention.

Throughout the world, municipal water utilities have focused on construction projects rather than demand management (Ward, 1990; Ostrom et al., 1993). By tradition and sometimes by law, these agencies are required to provide water service upon demand to all residents as cheaply as possible. When rates are highly subsidized, and access to new supplies are funded from sources other than rates, the cost-saving argument of conservation holds little force. In Mexico, as in many developing countries, external support agencies have tended to focus on providing money for capital construction, but none for operation and maintenance or for management. The ability to adopt a program of demand management depends on the capacity of the institutions responsible for water supply.

In the MCMA, there has been a high level of centralization of operational functions and, at the same time, a separation of operational functions from those of rate setting and fee collection. Therefore, the efficiency with which the utility operated was not critical to the utility's standing or funding. One reason for the creation of the Federal District Water Commission (*La Comisión de Aguas de Distrito Federal*) in 1992 is to change these organizational incentives (Comision Nacional de Agua, 1992; and see [Chapter 7](#) of this report).

Capacity Building

Historically, municipal water utilities throughout the world have shown an organizational preference for developing new supplies rather than trying to change patterns of demands. Changing the demand patterns of water users requires the insight of economists and other social scientists who specialize in the design of economic incentives, educational programs, and other tools of persuasion. Despite the obvious relevance of social science training to implementation of water demand strategies, many utilities employ primarily engineers. Economists or other social scientists are often employed at low levels in the agency hierarchy and thus have little influence on important policies. Further, conservation offices are awarded relatively few resources to promote demand management, and have little organizational status.

The implementation of conservation plans is complex and requires the consideration of, for example, administrative and organizational costs, environmental issues, institutional development, human resources development, community organization, water sector assessments, legal issues, information management, and contracting (Okun and Lauria, 1991). Demand-management programs will affect several different groups, including the administering agencies as well as consumers. The incentives and disincentives faced by each municipal water authority must be evaluated. Incentives include increased supply capacity, and thus reduced investment and operating costs. Possible

disincentives include revenue shortfalls, the need for more frequent rate adjustments, and increased difficulty forecasting future demand. The effects of any conservation strategy on local water agencies, particularly one formulated at higher levels of government, need to be addressed if those agencies are expected to embrace both the concept and the practice of increased efficiency in water use.

The actual practice of cost-recovery also requires the technical and administrative ability to operate a pricing system efficiently (Bahl and Linn, 1992; Ostrom, et al., 1993). This calls for reasonably accurate metering of the water supply to each consumer who is to be billed separately. Thus, the initial installation of the meters must be supported by an adequate system of maintenance and repair (including recalibration of meters at appropriate intervals). The meters must also be read at clearly defined intervals. Water accounts and delivery of bills should be prepared with the least possible delay after meter reading. Finally, payment of accounts within a reasonable time must be enforced, with genuine penalties for late payment. Building administrative and technical capacity must go hand in hand with policy innovations such as water rate reform if the desired results are to be achieved.

Two other points bear repeating here. First, conservation offices must receive the resources they need in order to be effective, including the funding necessary to attract qualified personnel, especially those from social science disciplines. Social scientists will tend to steer water policy away from command-and-control and toward demand management, provided that they are allotted sufficient status within the organization. Second, to be able to push through demand-management programs over other entrenched interests, water-conservation offices must themselves have increased stature within the water utilities and other municipal agencies in the MCMA. Increased stature will, in part, derive from the caliber and professionalism of the conservation office's staff².

It has been repeatedly demonstrated that, even with the simplest of water conservation programs, water usage may be reduced 20 to 30 percent without substantially affecting resident or business welfare by introducing conservation incentives or technologies that generate the same water services from lesser quantities. (Martin et al., 1980; Shaw et al., 1992). Simply metering water usage more widely is likely to effectively reduce water use, particularly if coupled with an incentive-oriented pricing structure such as increasing block rate. Nevertheless, adequate institutional capacity is a prerequisite for success. Mexico City has the potential to obtain similar savings if enough attention is placed on

² Much has been written on the topic of metering and unaccounted-for water. The interested reader is referred to extensive publications on the topic by the American Water Works Association, Denver, Colorado.

proper implementation of demand management strategies. Of course, conservation water policies must be designed for a specific context and programs that succeed elsewhere may be inappropriate in the MCMA.

The Federal District has launched an ambitious program to reduce the water demand within a community through the installation of water saving devices, such as low-flow toilets and showerheads. In recent years, water officials in the MCMA have established goals of better water demand management and have taken important steps toward the realization of these goals. Reorganizations occurred to decentralize and better integrate functions, and rate structures have been changed; but perhaps more importantly, officials have voiced an intent to confront the urban growth that has created many of the water problems. In the document entitled *Agua 2000*, the chief of the Department of the Federal District gave official recognition to the need to control growth and to steer population away from recharge areas and into areas where infrastructure exists (Departamento de Distrito Federal, 1991a). In addition, the need to change popular cultural conceptions concerning water has been recognized.

These are steps in the right direction, but the importance of further reform is clear. The costs, both financial and environmental, of using water in the MCMA have risen sharply in recent years, and they will continue increasing as demands promise to outstrip supplies in the near term.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

7

Institutional Issues

In Mexico, water use has been historically tied to the principal that water resources are the property of the state and thus should be a free, constitutional right for every citizen. This concept comes from land reforms established in 1917 in Article 27 of the Mexico Constitution. Since 1988, Mexico has undergone a revolution in the laws allocating its water resources and regulating its quality. Recent reforms are designed to promote private water rights, allow for the privatization of management of water supply and wastewater services and incorporate new principles, such as a requirement to conduct cost-benefit analysis in the application of regulatory standards. A new position of Federal Prosecutor for the Environment has been established that reflects the sense that the environment, itself, is entitled to representation in the government. There is also increased emphasis on various water conservation measures including water reclamation. These changes have created an environment where water policies can be more easily and rationally reformed than in the past. This chapter discusses the institutions that control allocation of water in the Mexico City Metropolitan Area (MCMA), and then considers institutions involved with water quality. The information on institutional developments in the MCMA is not readily available in published form. In this regard, the committee has benefited from direct communication with responsible authorities and material provided to it by the National Water Commission, the Ministry of Health, the National Supreme Court, the Ministry of Environmental and Urban Development, the Department of the Federal District, and the Federal District Water Commission.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

WATER QUANTITY INSTITUTIONS

In Mexico, institutional power is most heavily vested in the President and the federal agencies. According to Article 27 of the Constitution, the President is granted the power to regulate the extraction and use of the nation's waters, to establish areas where water cannot be extracted and, through his designated agents, establish rules for issuance of permits for water use under terms mandated by laws passed by the Congress.

The executive branch of the Mexico government includes several ministries, which correspond to the departments of the executive branch of the U.S. government. The Ministry of Agriculture and Water Resources (*Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulica*, or SARH) is the most important ministry for allocating water. The National Water Commission was created by Congress and works in concert with SARH to carry out water allocation. The Commission operates with advisors from other ministries. It is divided into five sub-categories: 1) Planning and Finance; 2) Irrigation Works Infrastructure; 3) Urban and Industrial Infrastructure; 4) Research; and 5) Water Administration. The last category includes record keeping, granting of permits, and the overall process of water allocation from an administrative standpoint.

The Commission maintains six regional offices, each represented by a regional administrator appointed by the Commission director. The Basin of Mexico is its own region. Within this region are the Federal District, and the States of Mexico, Hidalgo, Puebla, and Tlaxcala (see map in [Figure 2.1](#)). Each of the represented states has a state regional director; however, these state regional directors, while not unimportant, exercise less power because of the tremendous financial and institutional power of the Federal District under a special law allocating water in the Federal District. In the Mexico City Metropolitan Area, the key institutions are the Federal District, the National Water Commission—because of the substantial number of wells in the area and the transbasin diversions into the basin—and the State of Mexico. The Federal District is not a state, but in fact is an entity of the federal government and thus is regulated pursuant to special federal legislation. Accordingly, the Regente of the Federal District is named by the President. Institutionally and politically, the Federal District has the most influence in the MCMA compared to State of Mexico.

Within the Federal District, the distribution of water and the water infrastructure are controlled by the district's water utility or *Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica*. The collection of water bills, meters and service is handled separately by the Treasury Department of the Federal District.

In that portion of the Basin of Mexico governed by the State of Mexico, the National Water Commission delivers water in bulk to the state water utility, the *Comisión Estatal de Agua y Saneamiento*. The state utility is responsible for

accepting the water, treating it, and distributing it to various counties in the state. The states and municipalities must request permits for ground water extraction from the National Water Commission. Private water companies are regulated and permitted in the same way as public utilities by the National Water Commission for distribution, extraction, or purchase of water.

The interaction between the State of Mexico within the MCMA and the Federal District is surprisingly minimal. While cordial relations exist, they have two separate and distinct sets of infrastructure. On opposite sides of the same street one may find two separate water lines, one state and one federal.

The state entities are different from the federal entities in that they receive very little direct funding and must rely on water fees to support their operation. When users do not pay their bills, which is often for the reasons discussed in Chapter 6, the states cannot pay the National Water Commission for their share of the overall infrastructure or for the water. Thus, each year there is a great deal of discussion of the amount of the subsidy to be provided by the National Water Commission because the state entities cannot pay the bill. In response to this problem, a number of measures, discussed below, are being put into place to protect the aquifer and conserve water by trying to make the system more efficient. Institutional arrangements for water allocation in the states of Hidalgo, Puebla, and Tlaxcala outside of the MCMA are similar to that of the State of Mexico.

A New Water Strategy for the Federal District

The Federal District Privatization Decree, issued in July 1992, creates a new Water Commission for the Federal District or *Comisión de Aguas del Distrito Federal* with the goal of improving the management of the public allocation of potable water, drainage, and treatment and reuse of residual waters. In this modernization effort, the decree allows the Water Commission to privatize the management and operation of water service in the federal district. The government hopes that this process will promote a new cultural appreciation that the water of the Federal District is a limited resource for which people of the area must pay.

Under the new decree, the existing water utility will continue to maintain control of the major works, such as the transmission canal around Mexico City, but the new commission will take over the areas of water supply, treatment of water, drainage, and treatment of residual waters.

In October 1992, the Federal District requested bids from private firms for the management of water distribution and billing in the district. Contracts were signed with the winning firms, and are designed to be implemented in three stages. The first is an updating of customer registers and installation of meters. The second will be the billing of customers by metered usage. In the third stage, private firms are expected to undertake the maintenance and repair of the

distribution system. In the first two stages, the contractor will be remunerated for specific tasks, such as installing meters or issuing bills. However, in the final stage, the city plans to sell water in bulk to contractors, and the firms, in turn, will sell water to the final consumers. The government plans to establish a preliminary schedule of water rates, which may vary among the four service zones according to demographic characteristics. The city eventually plans to base water rates on the contractor's average total cost per unit volume of water supplied. At this stage, private firms should be in charge of operating and maintaining the water-distribution system and will (1) lose revenues if bills go uncollected, and (2) incur costs for leaks. The price at which the water will be sold to contractors is expected to be determined after there has been a period to operate under a "fee per task" system, the idea being to reduce uncertainty for both the city and the contractors.

A distinctive characteristic of this scheme is that the district has been divided into four 'zones' with roughly equal numbers of users, and a separate firm was awarded the contract for each. Thus, there are four firms in operation during the period of the initial agreements. As of this writing, contracts have been awarded to a consortium of Mexican, French, U.S., and English firms.

The Federal District now estimates that this billing and metering system may reduce water needs in the City by 30 to 40 percent, in part through the repair of leaks and in part from the reduced consumption expected to result from higher tariffs. This move towards privatization is not without precedent. The Mexican government has privatized more than 1000 public industries and services, including at least two wastewater treatment plants in the Federal District. The participation of private industry has already reached into airlines, telecommunications, highway construction, and banking.

As the privatization initiative for the delivery of water within the Federal District moves forward, the National Water Commission, the Mexico City Water Commission, the Federal District, and the new private companies managing the distribution of water will need to coordinate and cooperate. It is at the national level that permits and water in bulk to the local distributors are allocated. Difficult questions will arise as to who should bear the cost of building the infrastructure, how water should be priced, and the practical measures for achieving efficiency in water use and distribution.

New Federal Law on Water Rights

On December 1, 1992, a new law was published which completely changed the method for allocation of ground water throughout Mexico. It provides that, based on hydrologic methods, a basin can be designated as fully appropriated. One can no longer put down a new well and get a new water right in a fully appropriated basin under this law. Rather, one must purchase the rights of an existing user. This change is expected to create a market for water rights. The

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

effectiveness of the law partly depends upon the knowledge of how much the previous user was actually using, and this presents a problem in the absence of meters. Nevertheless, there is a permit amount, and it is possible to back into this calculation by using hydrographic surveys and other methods. This law applies to potable water supplies as well. Prior to December 1992, any provider of potable water had to simply apply for a well permit and one would be granted. Now, the applicant must go out and purchase other users' permit rights. If implemented properly, this new law should be useful in controlling ground water extractions in highly exploited areas by limiting the availability of permits.

The law provides in a very vague way for consideration of impacts on third parties, but there are no provisions in regulation form which give meaning to this provision. As to well interference, the old law provided for a flat prohibition of the placement of a well within 500 meters of another's well. Under the new law, the calculation will vary depending upon aquifer coefficients. Also important will be provisions for recording of permits, verification, and monitoring.

Regional Water Planning Councils

A further significant change brought about in the new national water law is a provision for the creation of regional watershed councils to help define the overall supply of water and provide local input into the management of ground and surface water. The councils are designed to work with the National Water Commission and state water commissions to set priorities for water use, to promote conservation, and represent the various user groups in the region. The Basin of Mexico constitutes a separate watershed and a council for this region will eventually be established.

Mexico's tradition of localized irrigation districts and agricultural cooperatives will provide a rich historic precedent for the development of these regional watershed councils. Local basin planning groups have already begun to bear fruit in the Lerma-Chapala basin where the private and public groups are working to develop plans for more efficient and fair utilization of that finite resource.

The Federal District is attempting to convince water users, through education and promotion strategies, that to achieve better service, they must pay for metered water at prices reflecting its true cost. As the public pays more, it will demand a voice in the equitable distribution of water, and will want assurances that costs are being allocated fairly. The new regional water councils represent an important institutional development, because the user voices will be heard in these forums. The councils are designed to be a setting for open debate about the issues of water pricing, water rights, conservation measures, and infrastructure development.

WATER QUALITY INSTITUTIONS

The national institution for protecting the environment, The Ministry of Social and Economic Development, has broad authority. Recent changes in the law have also given enforcement authority for water quality protection to the National Water Commission and to the Ministry of Health. Because of the dominance of these federal institutions, local or state health agencies have little responsibility over water quality within the Mexico City Metropolitan Area. Unfortunately, these federal agencies have overlapping jurisdiction and inconsistent regulations, which have made it difficult to develop comprehensive water regulations as mandated in the 1988 General Law of Ecological Balance. While the 1988 law announced a very extensive plan for protecting the environment, it has only been implemented in narrow areas where crises have forced action (e.g., see U.S. Government Accounting Office, 1991; and U.S. Environmental Protection Agency, 1993). Thus, until new regulations are promulgated, the standards established by the previous 1971 law for protection of water resources still apply.

The new Law for Establishing Norms and Standards (*La Ley Federal Sobre Metrología y Normalización, 1 de Julio, 1992*) and the new position of Federal Prosecutor for the Environment are significant reforms. The Federal Prosecutor for the Environment has the ability to protect the environment by prosecuting those industries, companies in partnership with the state, and others that cause environmental damage through violation of government standards. The federal prosecutor operates outside the normal bureaucracy and could serve to focus national attention on serious environmental degradation, including water quality within the MCMA. In turn, national attention could bring about more extensive regulations to address current problems and future ones.

The National Law for Norms and Standards mandates the use of cost-benefit analysis for new regulations, and requires investigation into nonregulatory market solutions. This law is significant because it is designed to bring epidemiologists and those who do risk analysis into discussions with institutions that encourage economic development. A cost-benefit analysis would presumably be involved as well in future regulatory decisions for the long-term life of the aquifer.

The General Health Law of February 7, 1984 (amended in 1988) gives the Ministry of Health jurisdiction over a variety of water-quality issues dealing with drinking water. The laws set standards for drinking water, including maximum levels of contaminants and the elimination of bacteria. The law also addresses water distribution and authorizes the Ministry of Health to regulate the water quality in all the public and private infrastructure for water delivery. The law addresses the treatment of wastewater, and it prohibits the discharge of wastewater into areas where potable water is taken. Virtually all of the states incorporate the norms and requirements of the 1984 law, as do the municipal

systems. While the Ministry of Health sets the standards, enforcement of the regulations falls under the Ministry of Social and Economic Development and the National Water Commission.

Another major change for water quality improvements is a new tax on both the use of the water resource and its disposal. While it is called a tax, it is intended to work like a permit fee to generate revenues to support protection of water resources. The component of the tax on wastewater disposal is designed as a disincentive for polluters, imposing a severe fine for returning untreated wastewater to the drainage system. Thus the tax is intended to encourage more efficient water use while generating funds for the government. The wastewater tax will clearly affect industrial users who draw their own water. It is not clear how municipal water users or the Federal District itself will be taxed. Implementation of the tax will likely influence commercial decisions for development, especially if it is applied differentially within and outside of municipal service areas.

8

Conclusions and Recommendations

As the cultural, economic, and industrial center for the nation, Mexico City has been a magnet for continued and often uncontrolled urban growth. A history of federally subsidized water service and poor financing, while encouraging economic development, has limited the capacity of the government to expand the network, treat water and wastewater, and fund repairs. Recently, the Mexican authorities have moved toward more efficient management of the region's water supply resources. Reversing past trends and implanting the new conservation strategies will be difficult. The challenge for decision makers in Mexico City will be to balance the need for obtaining new sources of water with more careful management of existing sources.

Thus, more attention should be given to managing water demand through pricing mechanisms, education, and conservation and reuse programs. There are several general recommendations of a diverse nature concerning improved understanding of the regional hydrology, reuse of reclaimed wastewater, protection of the quality of existing resources, greater efficiency of use, and institutional change, all designed to improve the existing system.

The issues and related recommendations presented below are meant to guide policy makers attempting to improve the quantity and quality of water resources in the Mexico City Metropolitan Area (MCMA). The recommendations are not in any order of priority, but should all be pursued with vigor, certainly before any further source development is considered. Successful implementation of these concepts should enhance the sustainability of Mexico City's water supply for many decades—and that is where priorities should be placed.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

ISSUE: CONTINUED USE OF THE MEXICO CITY AQUIFER

While the quantity of ground water in storage in the southern portion of the Basin of Mexico is estimated at 240 to 350 times the current annual draw down, a usable life of the Mexico City Aquifer can not be predicted with reliability. Over-exploitation continues to cause subsidence problems and increase the vulnerability of the aquifer to contamination. Limited information is available concerning geological and chemical properties of the aquifer at depths greater than those of current pumping. The hydrogeology of the southern portion of the Basin of Mexico, occupied by the MCMA, is best understood. To the north of Sierra Guadalupe, less is known concerning the quality and availability of ground water reserves. Even so, previous studies in the southern part of the basin have suffered from a lack of continuity and compatibility. Data used in current prediction models for the Mexico City Aquifer are not reliable, and the consequences of a prediction error on long-term planning may be severe. More complete information on the draw down rates of the aquifer, the relevant hydrologic parameters, vulnerability to contamination, and an identification of the critical water levels below which continued pumping would no longer be efficient would be required to predict the aquifer life more reliably. Further, the development of appropriate rates of ground water withdrawal should also be based on social factors, the economics of water resource development and distribution, the influence of conservation and demand-management measures, and public policy. Although this study has not examined important issues in regional and urban development, it is clear that water resources planning and the collection of data should anticipate the rates and impacts of growth, not only in the MCMA, but in the entire Basin of Mexico, and adjoining basins.

Recommendation: A long-term research program for determining the hydrologic, physical, chemical, and biological characteristics of the aquifers in the Basin of Mexico should be developed. A coordinated, long-term research program should be implemented to support sustainable management of the aquifer system throughout the Basin of Mexico. The program should emphasize continuity among studies and should be directed by an advisory board with technical representatives from all affected parties having jurisdiction within the area. This program should involve all the institutions that regulate water from the Basin of Mexico aquifers, thus bringing different perspectives to the table including environmental, developmental, health, cultural, and scientific interests.

The long-term study should examine the thickness, extent, and depth of the aquifers. The study should determine more reliable estimates of porosity, permeability, storativity, and hydraulic conductivity of the aquifers. Other important components include (1) changes in water quality with depth, geographic

location, and relation to producing well fields, (2) the degree of connectivity between the various zones within the aquifers and in the recharge zones, (3) the extent and location of faults or other compartmentalizing factors within the aquifers important for optimizing well placement, and (4) physical, chemical and biological characterization of the aquifers.

These studies must be carried out with the best available scientific approaches and should include a system of monitoring wells, use of remote sensing and aerial photography to map and fully understand zones of recharge and the consequences of subsidence, and development of a geographic information system to integrate surface features, infrastructure, and hazardous activities on a common base map.

Recommendation: The optimal yield for the Mexico City Aquifer should be determined. After the characteristics of the Mexico City Aquifer are understood with some level of confidence, an interagency and interdisciplinary panel should be brought together to determine an optimum yield for the aquifer on the basis of an evaluation of multiple objectives. It may be useful to engage in this analysis the same advisory board that would be directing the long-term ground water research program for the Basin of Mexico. What is optimal for the Mexico City Aquifer will depend, at a minimum, upon a number of interrelated factors:

- a consideration of the economic dependence of the region on the ground water resource,
- the consideration of deteriorating water quality with increasing aquifer depth,
- the current impacts of point source and nonpoint source pollution,
- the availability and actual marginal cost of obtaining and distributing other new sources of water,
- an analysis of water use,
- the influence and potential of programs for water pricing and metering, water conservation, water reuse, and ground water recharge,
- the impact of water use on other environmental interests, and
- the best calculations available as to the potential long-term life of the aquifer at the various rates of pumping based on the considerations above.

ISSUE: IMPLEMENTATION OF WATER REUSE PROJECTS

Wastewater discharge from the MCMA is estimated at 44.4 cubic meters per second, or 74 percent of the total water usage. Most of the wastewater exits the Basin of Mexico. Consequently, there is a very large potential for the further

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

development of water reuse programs to conserve existing water supplies for higher quality uses.

Limited water reuse programs have been initiated in the MCMA within the last few years, including programs on aquifer recharge with storm water and reclaimed municipal wastewater, and industrial reuse and recycling of reclaimed wastewater. While some types of industrial reuse, such as cooling water for electric generator plants, can be accomplished without excessive treatment, the majority of water reuse activities will require some level of treatment (to reduce pathogens and other undesirable contaminants). In the Federal District, industrial pretreatment of wastewater has been mandated by a 1990 law; however, little is known about the effectiveness of the program.

Recommendation: Reclaimed, treated municipal wastewater has great potential and should be used increasingly as a source of water for urban and industrial uses including landscape irrigation, agricultural irrigation, and aquifer recharge. The use and degree of treatment of reclaimed, treated wastewater should be targeted for specific areas and purposes in the MCMA. Feasibility studies for agricultural and industrial reuse should continue. Another possibility would be to provide new urban development with the necessary infrastructure (e.g., dual distribution systems and low flow plumbing) for using reclaimed water (e.g., for toilet flushing and air-conditioning in high-rise buildings, and for landscape irrigation). These measures, when taken during the construction stage, are more economical than when they have to be retrofitted. Implementation of industrial pretreatment programs will be necessary for effective wastewater treatment, and will be a prerequisite for developing a viable ground water recharge program and other water reclamation projects. If water reuse programs are to be safe and effective, all municipal wastewater should receive proper treatment prior to disposal, as well as for reuse purposes.

ISSUE: VULNERABILITY OF GROUND WATER TO CONTAMINATION

Unlined garbage dumps, damaged sewer lines, untreated domestic and industrial water, lack of control of hazardous materials, and other human activities all leave the aquifer vulnerable to contamination. The transition and mountain zones are particularly vulnerable because of the high recharge rates in these areas. The lacustrine zone, previously considered to be an impermeable clay layer under the MCMA, is likewise vulnerable because of recent findings that suggest the downward movement of contaminants may occur in this region as well.

Recommendation: An orderly, comprehensive ground water monitoring and protection program should be implemented. Such a program should

include the identification and mapping of vulnerable areas in the MCMA, the types of human settlements that occur, location of active production wells, location of abandoned wells, the type of sewer services provided, the industries in the area, the extent of industrial and domestic wastewater treatment employed, and an identification of other activities that contribute to ground water contamination. The evaluation of the impact of these activities on nearby production wells should be the highest priority. Experience has shown many times that investments in ground water resource protection are more effective and efficient than site remediation. Indeed, after a site is contaminated, it is not always feasible to restore it to drinking water standards.

Options to protect the water supply may include increased restrictions on industrial discharges, measures to contain hazardous waste, installation of water and sewer services where they are lacking, the implementation of wellhead protection programs, or closing and relocating of wells. Further research is needed in the areas of the transition and lacustrine zones to characterize more accurately the vulnerability of the aquifer.

ISSUE: HUMAN HEALTH CONCERNS FROM PATHOGENS

The potable water distribution system is vulnerable to contamination by pathogens. Studies indicate the presence of pathogenic organisms in water samples from home taps, domestic cisterns, and other parts of the system, although available studies do not pinpoint the source of the problem. The water distribution system is old and has suffered extensive leaks, partly through the effects of land subsidence. Leaks, combined with system interruptions and periods of lower pressure, make the system susceptible to infiltration of contaminants from the subsoil, which may be contaminated by leaking sewers, septic tank discharges, and leakage and overflow from drainage canals.

Much of the sewer system consists of unlined open canals and drainage ditches. None of the wastewater from the MCMA is treated prior to disposal (the 10 percent that is treated goes toward reuse projects). Therefore, largely untreated sewage flows through these open canals, creating a situation of potential high human exposure to pathogens and parasites and consequent risk of disease. Another concern is the location of certain drinking wells in areas adjacent to sewage canals.

Infectious intestinal diseases, especially acute diarrhea, are a leading cause of infant mortality in the MCMA. Increased use of oral rehydration has contributed to the decline of deaths from these diseases in Mexico over the past several years, although oral rehydration does nothing to address the cause of the infections, such as exposure to contaminated water.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

Recommendation: Wastewater treatment prior to disposal and increased surveillance of public health and the water distribution system should be high priorities. Existing wastewater treatment plants should be expanded and upgraded to handle larger volumes of wastewater, and attention should be placed on wastewater treatment for disposal purposes. Priority should be given to areas with relatively high rates of infectious intestinal diseases. A monitoring program should be developed to collect the appropriate data and perform the necessary epidemiological studies in order to trace the source of the problems, whether they be in the water distribution system, the household, the neighborhood, or from raw water sources. Increased monitoring may also be necessary at bottled-water plants and at public swimming pools. The water distribution system should maintain a continuous, adequate pressure and residual level of disinfectant.

ISSUE: REGULATION AND MONITORING OF WATER QUALITY

The quality of water in Mexico is determined presently by a triumvirate of powerful institutions: the Secretary of Social Economic Development, the Secretary of Health, and the National Water Commission. To date, there have been difficulties establishing a broad set of water-quality standards to comply with the 1992 Law of Norms and Monitoring. Conflicting mandates among the agencies may make it difficult to set the pollutant priorities and implement a program for reducing pollution in the water supply.

There is concern about the data collection and record-keeping capabilities of the Central Water Quality Laboratory of the Federal District. The laboratory must cover an enormous service area (approximately 667 square kilometers) with high urban density and extensive industrial development. The great complexity of the water distribution network suggests diverse water quality conditions in different parts of the network. The State of Mexico has less capability than the Federal District to monitor and report on water quality within its metropolitan service area. Water quality information is not readily available for either service area.

Recommendation: The Federal District and the State of Mexico should work together to improve the capabilities for water quality data collection, information storage, and reporting of monitoring results. Current and reliable information should be available to the general public as well as government and research institutions. The information should be at a suitable level of detail to identify what parameters may be out of compliance in specific areas of the distribution system, and its significance to public health.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

ISSUE: ADEQUACY OF WATER MANAGEMENT AND PLANNING STRATEGIES.

Water costs in the MCMA have escalated dramatically, and existing revenues do not come close to paying the marginal costs of operation and maintenance. This imbalance restricts the ability to expand the network to underserved areas, treat sewage, and fund the repairs of leaks in the distribution system. The actual scarcity and value of water is not reflected in its administration or consumption. Most use is unreliably metered or not monitored at all, and a majority of water bills go unpaid. Neither actual water use nor uncollected revenues are known with any precision.

Water demand and supply can be brought more into balance by promoting a broader notion of management in which both supply and water use receive attention in the planning process. Water use can, in many instances, be reduced without impinging on the economic development of the region by substituting conservation for an increase in water-supply capacity. Specific policy tools include educational programs, plumbing retrofit programs, conservation audit programs, conservation laws, meter installation and maintenance programs, urban land-use planning, and pricing structures aimed at bringing user costs more in line with supply costs.

Recommendation: Functioning meters should be installed for all but the poorest consumers. To achieve such metering, several million additional meters would have to be installed, at a cost of roughly \$100 each. While this is a large sum of money, it is small in comparison with the amounts required for infrastructure repair and upgrading, or the importation of new water sources from distant basins. If coupled with price restructuring, metering would help the local governments meet their water-system costs fully and fairly. Metering water use, monitoring the reading of meters, repairing broken meters, and revising water rates are essential to water conservation and should be pursued together. The highest priority should go to metering large users who are most well off. Less is gained by metering the poorest and smallest users, many of whom do not even have access to water within their dwellings.

Recommendation: A reliable method of meter reading and bill collection should be established, and water tariffs should be set at a level that allows each water authority to develop a self-sustaining program. Realistic water pricing is one of the most fundamental keys to water-demand management. Tariff setting should be a multi-objective tool to influence consumption, satisfy financial goals, and achieve important environmental and social goals. Moreover, sustainable and efficient water use is most likely to occur when municipal water utilities are financially self-sufficient, and users pay approximately the true cost of water development, distribution, and systems maintenance.

The marginal cost of water, including treatment and disposal costs, should be established and used as a guide for developing water rates. An increasing block tariff structure, with provision for very low rates for very small amounts, is a practical means for doing so. The capacity of the public utility—whether government or privately owned—should be enhanced to update connection records, read meters, prepare the bills, and sanction nonpayers, all of which will require training a cadre of people with the requisite skills. The development of an accounting database of water users (starting with the major water users) will facilitate the implementation of this policy.

Recommendation: The water service infrastructure should be adequately repaired, maintained, and extended. The Federal District has embarked on an aggressive campaign to eliminate system leaks, which is perhaps as important to water supply as the development of an entirely new source, and this program should be encouraged. Additionally, aging infrastructure and failing installations should be replaced. Although difficult to accomplish, adequate water service must be provided to all households within designated service areas.

ISSUE: ORGANIZATIONAL OPPORTUNITIES AND CHANGE

Managers, administrators, and politicians have a central role in promoting sound water-pricing practices, research and development, public education, and other regulatory policies, including an examination of the potential benefits of privatization. Governments have a difficult time dealing with water conservation because water is a highly-charged political subject. Many people in Mexico believe that, because water is essential to life, authorities are obliged to bring it to the population at little or no cost. Therefore, education and public awareness have important roles to play in conservation. A well-designed public education program can change the water-use habits of a community and may, as a result, achieve a substantial reduction in water demand. Public conservation campaigns have been initiated by the Federal District; however, their effectiveness has yet to be evaluated.

The Federal District is embarking on a privatization initiative, motivated both by the belief that the private sector has the potential for improved managerial efficiency via the profit motive. The initiative leaves infrastructure ownership and capital investment in the hands of the public sector, but will gradually contract out many management functions to private firms via short term competitive contracts. This transition to private management will be a radical shift for both the government and the public.

Recommendation: Public education campaigns must be developed, maintained, and evaluated. It is important to promote conservation among the general public and to target the message appropriately. Little emphasis need be placed on targeting those who do not have in-house or on-site access, since they do not use much water and have little control over its use. Opportunities for involving the private sector in public education as well as in the management responsibilities of water utilities should be explored.

Recommendation: Professionals in the social science disciplines should be recruited into the water regulatory and management agencies to help develop demand management programs. One of the principal impediments to improved water demand management is the inability of agency officials to perform adequately the tasks required. The past emphasis upon construction of new water-supply facilities is reflected in the recruitment and promotion of agency officials who have engineering expertise but are not skilled in psychology, public information, public policy, and economics. The past emphasis on the physical aspects of the water system has de-emphasized the collection of necessary information about the characteristics of water users, their practices, and likely incentives to reduce demand.

Even though the management of the water distribution system will be privatized, municipal agencies still have a major role to play in setting and overseeing water policy. Therefore, a concerted effort to build the capacity of water management agencies is required, particularly in the recruitment and promotion of professionals with skills in social science disciplines such as psychology, public information, public policy, and economics. Water conservation and demand management offices should be hierarchically positioned within water supply agencies so that they can exert authority in overall decision making.

ISSUE: EQUITY

Residents of the MCMA receive diverse levels of water service and use very different quantities of water. Water is readily available at low cost to some, while water service is undependable and/or inconvenient to others. The emphasis upon water conservation and demand management should not obscure the need to upgrade water service to a substantial number of the poorest residents. Water agencies will need widespread public support as they attempt to institute rate structure and other reforms. Such support will not be forthcoming unless there is a perception that service is distributed equitably. The poor in many developing countries do not have household access to the public water system, and consequently they tend to pay a larger portion of their income to obtain good quality water than those who are better off and who have both better access and low water rates (Crane, 1994, World Bank, 1992, Whittington and Choe, 1992). The putative effects on the poor are not an impediment to

rational rate structures. Further studies are warranted to provide a fuller understanding of how expansions in the distribution system, as well as water-tariff policies, affect the health and financial status of the very poor. Additionally, intergenerational equity should be of concern. If the demand for water cannot be sustained over the long term, future generations of MCMA residents will have even more limited access to potable water.

Recommendation: Dependable water services should continue to be extended to the poor. The poorest segments of the MCMA population do not have a convenient, dependable water supply. In evaluating who benefits and who pays as a result of reforms such as rate restructuring and privatization, particular attention must be paid to the impact on this segment of the population. Water is a basic commodity, essential to human health and welfare, and sufficient access to serve human needs should be available to those with low as well as high incomes. Increasing the block rates of nonmetered high-volume users will shift some of the cost burden to those most able to afford it, as well as encourage water-conservation measures.

Recommendation: The public should be involved in decisions concerning privatization and water demand management.

As water moves from a free natural right to a commodity for which one pays money, those who pay will ultimately demand and are entitled to a voice. It is important to assure the public that the price of the good is reasonable in relation to its cost, that the quantity and quality of water is distributed fairly to all users, and that conservation programs and use of subsidies are equitable. Therefore, the public should have formal avenues to offer their opinion and to be involved in the decision process.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

References

- AIC-ANIAC. 1995. *El Agua y la Ciudad de Mexico*. Mexico, D.F.: Academia de la Investigación Científica, A.C. y Academia Nacional de Ingeniería, A.C.
- Alberro, J. 1993. Algunos efectos de las filtraciones en la estabilidad de las masas rocosas. Primera Conferencia Magistral, 22–24 de septiembre. J.Marsal (ed.), Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas, A.C. Texcoco, Gro., México.
- Albert, L., P.Mendez, and M.Cebrian. 1980. Organochlorine Pesticide Residue in Human Adipose Tissue in Mexico: Results of a preliminary study in three Mexican cities. *Archives of Environmental Health* 35(5):262–269.
- Bahl, R.W., and J.F.Linn. 1992. *Urban Public Finance in Developing Countries*. New York: Oxford University Press. Published for The World Bank.
- Bellia, S., G.Cusimano, M.T.González, R.C.Rodríguez, and G.Giunta. 1992. *El Valle de México; consideraciones preliminares sobre los riesgos geológicos y análisis hidrogeológico de la cuenca de Chalco*. Quadernilla (Serie Scienza 4), Instituto Italo-Latino Americano, Roma.

- Boland, J.J. 1983. *Water/Wastewater pricing and financial practices in the United States*. Washington, D.C.: Metametrics, Inc.
- Bredehoeft, J.D. and G.F.Pinder. 1970. Digital Analysis of Areal Flow in Multiaquifer Groundwater Systems: A Quasi Three-Dimensional Model. *Water Resources Research*, 3(6):883–888.
- Buenfil, M. 1993. Household water metering and tariffs. Mexico D.F. Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua (IMTA).
- Carrillo, N. 1948. Influence of artesian wells on the sinking of México City. In *Proceedings of the 11th International Conference on Soils Mechanics*. Holland.
- Castro, J.F. 1991. El cholera, una plaga rediviva. *Gaceta Medica de Mexico* 127(5):395–398.
- Cech, I., and A.Essman. 1992. Water sanitation practices along the U.S.-Mexico border; implication for physicians on both sides. *Southern Medical Journal* 85(11):1053–1064.
- Comisión de Aguas de Distrito Federal. 1993. Licitacion para la prestacion de servicios relaciones con el servicio publico de agua potable y drenaje en el Distrito Federal. Mexico, D.F.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. 1993. Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Mexico 1994–2000 Tomo 2.
- Comisión Nacional del Agua. 1992. Situación Actual del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Gerencia de Información y Participación Ciudadana.
- Crane, R. 1994. Water markets, market reform, and the urban poor: Results from Jakarta, Indonesia. *World Development* 22. World Bank Technical Report 22.
- Craun, G.F., R.J.Bull, R.M.Clark, J.Doull, W.Grabow, G.M.Marsh, D.A. Okun, S.Regli, M.D.Sobsey, and J.M.Symons. 1994a. Balancing chemical and microbial risks of drinking water disinfection, Part I. Benefits and potential risks. *J. Water SRT-Aqua* 43(4):192–199.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Craun, G.F., S.Regli, R.M.Clark, R.J.Bull, J.Doull, W.Grabow, G.M.Marsh, D.A.Okun, M.D.Sobsey, and J.M.Symons. 1994b. Balancing chemical and microbial risks of drinking water disinfection, Part II. Managing the risks. *J. Water SRT-Aqua* 43(5):207–218.
- Cutter Information Corp. 1992. Technology transfer in practice: the Mexico example. *Business and the Environment* 3(4):3–5.
- Departamento del Distrito Federal. 1969. Interceptores Profundos y el Emisor Central. Un Nuevo Sistema para el Distrito Federal. Secretaría General de Obras Publicas. Mexico, D.F.
- Departamento del Distrito Federal. 1982. El Sistema Hidráulico del Distrito Federal, un servicio publico en transición. Mexico, D.F.
- Departamento del Distrito Federal. 1990a. El Sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. México, D.F.: Secretaria General de Obras.
- Departamento del Distrito Federal. 1990b. Memoria, Programa de Use Eficiente del Agua. Mexico, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidraulica.
- Departamento del Distrito Federal. 1991a. AGUA 2000: Estrategia para la Cuidad de México. México, D.F.
- Departamento del Distrito Federal. 1991b. Memoria: Programa de Uso Eficiente del Agua, 3rd edition. Mexico, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Secretaría General de Obras.
- Departamento del Distrito Federal. 1992a. Memoria: Programa de Uso Eficiente del Agua, 4th edition. Mexico D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Secretaría General de Obras.
- Departamento del Distrito Federal. 1992b. 1992 Compendio DCGOH. Mexico D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidraulica. Secretaria General de Obras Publicas.
- Durazo, J., and R.N.Farvolden. 1989. The ground water regime of the Valley of Mexico from historic evidence and field observations. *Journal of Hydrology* 112:1–190.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Espino, E., M.Vázquez, and F.Flores. 1987. Pilot Studies of Wastewater Potabilization in México City. P. 693–703 in Proceedings, Water Reuse Symposium IV, August 1987, Denver, Colorado: American Water Works Association.
- Falkenmark, M. and R.A.Suprpto. 1992. Population-landscape interactions in development: a water perspective to environmental sustainability. *Ambio* 21(1):31–36.
- Fox, K.R. 1993. Engineering aspects of waterborne disease outbreak investigations. Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency.
- Garza, G., ed. 1987. Atlas de la Ciudad de México. Departamento del Distrito Federal y El Colegio de México. México, D.F.
- Garza, G., ed. 1989. Una Década de Planeación Urbano-Regional en México, 1978–1988. El Colegio de México. México, D.F.
- Frederick, K.D. 1993. Balancing Water Demands with Supplies: The Role of Management in a World of Increasing Scarcity, World Bank Technical Paper No. 189. Washington, D.C.: The World Bank.
- Herrera, I. 1970. Theory of multiple leaky aquifers. *Water Resources Research*, 6(1):185–193.
- Herrera, I., and G.E.Figueroa. 1969. A correspondence principle for the theory of leaky aquifers. *Water Resources Research* 5(4):900–904.
- Herrera, I., R.Martínez G., and G.Hernández. 1989. contribución para la administración científica del agua subterránea de la Cuenca de México. In *El sistema acuífero de la Cuenca de México*. Special volume, I. Herrera (ed.), *Geofísica Internacional*, 28(23):297–234. Unión Geofísica Mexicana.
- Herrera-Revilla, I., R.Medina-Bañuelos, J.Carrillo-Rivera, and E.Vazquez-Sánchez. 1994. Diagnóstico del Estado Presente de las Aguas Subterráneas de la Ciudad de México y Determinación de sus Condiciones Futuras. Contracto No. 3–33–1–6684. México, D.F.: DGCOH, DDF, Instituto de Geofísica, UNAM.
- Hiriart, F., and R.J.Marsal. 1969. El Hundimiento de la Ciudad de México. Pp. 109–147 in VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos y Ingeniería de Cimentaciones, N.Carrillo (ed.). Mexico D.F.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Ingram, H., N.Laney, and D.Gilliland. 1995 (in press). *Divided Waters: Bridging the U.S.-Mexico Border*. University of Arizona Press, Tucson, AZ.
- INEGI (Instituto Nacional Estadística Geografía y Informática). 1991a. *Area Metropolitana del la Ciudad de Mexico—Síntesis de Resultados—X Censo General de Población y Vivienda 1990*. Mexico, D.F.: INEGI.
- INEGI. 1991b. *Resultos Definitivos, XI Censo General de Poblacion y Vivienda 1990*. Mexico, D.F.: INEGI.
- International Life Sciences Institute. 1992. *The Safety of Water Disinfection: Balancing Chemical and Microbial Risks*. Proceedings of The First International Conference on the Safety of Water Distribution. Washington, DC.
- Juarez, J., G.Martinez, and J.Diaz. 1992. Installation of a water disinfection system in a Mexico City hospital. *Bulletin of the Pan American Health Organization* 26(2):121–127.
- Kindler, J., and C.S.Russell, et al., eds. 1984. *Modeling Water Demands*. London: Academic Press.
- Lessor y Asociados, S.A.de C.V. 1993. *Perfiles de suelo para determinar el movimiento de contaminantes al agua subterránea*. Mexico, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación. Departamento del Distrito Federal.
- Lesser-Illades, J.M., F.Sánchez-Díaz, y D.González-Posadas. 1990. Aspectos geohidrológicos de la ciudad de México. *Ingeniería Hidráulica en México* I(5):52–60, Mexico, D.F.
- Marrow, A.L., R.R.Reewes, and M.S.West. 1992. Protection against infection with *Giardia lamblia* by breast-feeding in a cohort of Mexican infants. Mexico, D.F.: *J. Pediatrics* 121(3):363–370.
- Marsal, R.J. 1974. *El hundimiento de la Ciudad de Mexico*. El Colegio Nacional.
- Martin, W., H.Ingram, N.Laney, and A.Griffin. 1980. *Saving Water in a Desert City*. Johns Hopkins Press, Baltimore, MD.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Mazari, M., and M.D.Mackay. 1993. Potential groundwater contamination by organic compounds in the Mexico City Metropolitan Area. *Environ. Sci. Technol.* 27(5):794–802
- McFadzean, J.A., and I.M.Pugh. 1976. Amoebiasis. In *Epidemiology and Community Health in Warm Climate Countries.* R.Cruickshank, K. Standard, H.Russell (eds.). Churchill Livingstone, New York NY, 482 pp.
- Metcalf and Eddy, Inc. 1991. *Wastewater Engineering; Treatment, Disposal, and Reuse.* 3rd edition, revised by G.Tchobanoglous and F.T.Burton. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, 1334 pp.
- Mooser, F. 1990. Estratigrafía y estructura del Valle de México en el subseulo de la cuenca del Valle de México y su relación con la Ingeniería de cimentaciones, a cinco años del sismo, México, en *Revista de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.* Mexico, D.F.
- Mooser, F., and C.Molina. 1993. Nuevo Modelo Hidrogeológica para la Cuenca de México. *Boletín del Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra*, 3(1):68–84. México D.F.
- Munasinghe, M. 1992. *Water Supply and Environmental Management: Developing World Applications.* Westview Press, Boulder, Colorado.
- National Research Council. 1993. *Ground Water Vulnerability Assessment: Contamination Potential Under Conditions of Uncertainty.* National Academy Press, Washington D.C.
- National Research Council. 1994. *Ground Water Recharge Using Waters of Impaired Quality.* National Academy Press, Washington, D.C.
- Odendaal, P.E., and W.H.Hattingh. 1987. Status of Potable Reuse Research in South Africa. *Proceeding of Water Reuse Symposium IV.* American Waterworks Association, Denver, CO, pp. 1339–1348.
- Okun, D.A. 1991. A water and sanitation strategy for the developing world. *Environment* 33(8):16–43.
- Okun, D.A., and D.T.Lauria. 1991. *Capacity building for water resources management: An international initiative for the 1990s.* Division for Global and Interregional Programmes, United Nations Development Programme. United Nations, New York, New York.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Orozco, and Berra. 1864. Memoria para la Carta Hidrográfica del Valle de México. Imprenta de A. Boix, Mexico, D.F. 185 p.
- Ortega, A., J.A.Cherry, and D.L.Rudolph. 1993. Large-scale aquitard consolidation near Mexico City. *Ground Water* 31(5):708–718.
- Ostrom, E., L.Schroeder, and S.Wynne. 1993. Institutional Incentives and Sustainable Development: Infrastructure Policies in Perspective. Boulder, Colorado: Westview Press.
- Pan American Health Organization. 1990a. *Health Statistics in the Americas*. PAHO Scientific Publication No 524, Volume II, Washington, D.C.
- Pan American Health Organization. 1990b. *Health Conditions in the Americas*. PAHO Scientific Publication No 524, Volume I, Washington, D.C.
- Piña, R., R.Vilehis and M.Buenfil. 1993. Water demand parameters for supply systems planning. Mexico, D.F.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Mexico.
- Pitre, C.V. 1994. Analysis of induced recharge from a wastewater canal through fractured clays in Mexico City. M.Sc. Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada.
- Rivera, F., F.Medina, and P.Ramirez. 1984. Pathogenic and free-living protozoa cultured from nasopharyngeal and oral regions of dental patients. *Envir. Research* 33:428–440.
- Rivera, F., M.E.Paz, and E.Lopez-Ochoterena. 1978. Transformacion amebo-flagelar espontanea y inducida en especies del genero Naegleria, recolecteadas en piscinas, grifos, y reservorios naturales de agua dulce de la Ciudad de Mexico. *Arch. Mex. Anat.* 15:9–19.
- Rivera, F., P.Ramirez, and G.Vilaclara. 1983. A survey of pathogenic and free-living amoebae inhabiting swimming pool water in Mexico City. *Envir. Research* 32:205–211.
- Rivera, F., F.I.Rosas, and M.Castillo. 1986. Pathogenic and free-living protozoa cultured from nasopharyngeal and oral regions of dental patients. *Envir. Research* 39:364–371.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Rivera, F., A.Ortega, E.Lopez-Ochoterena, and M.E.Paz. 1979. A quantitative morphological and ecological study of protozoa polluting tap water in Mexico City. *Transactions of the American Microscopic Society* 98(3):465–469.
- Rivera, F., P.Bonilla, E.Ramírez, A.Calderón, E.Gallegos, S.Rodríguez, R. Ortiz, D.Hernández, and V.Rivera. 1994. Seasonal distribution of air-borne pathogenic and free-living amoebae in Mexico City and its suburbs. *Water, Air, and Soil Pollution* 74(1–2):65–87.
- Rodríguez, R. 1987. consideraciones preliminares, basadas en resultados geofísicos, sobre la interfase agua mineralizada-agua dulce in el área de Sta. Catarina Yecahuitzol, Distrito Federal, México. *Geofísica Internacional*, 26(4):573–583. México, D.F.
- Rose, J.B., C.H.P.Gerba, and W.Jakubowski. 1991. Survey of potable water supplies for *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Environmental Science and Technology* 25(6):1303–1310.
- Rose, J.B. 1993. Enteric waterborne protozoa: hazard and exposure assessment. In: Craun, G.F. (ed.) *Safety of Water Disinfection*. Washington: Internation Life Science Institute Press.
- Roth, G. 1985. The role of the private sector in providing water in developing countries. *Natural Resources Forum* 9:167–177.
- Rowen, J., and D.Behm. 1993. Fatal Neglect. *Milwaukee Journal*, August, pp. 19–26.
- Rudolph, D.L., J.A.Cherry, R.N.Farvolden. 1991. Ground water flow and solute transport in fractured lacustrine clay near Mexico City. *Water Resources Research* 27(9):2187–2201.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicas). 1953–1969. Boletines de Mecánica de Suelos, Comisión Hidrológica de la Cenca del Valley de México, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulica, Mexico, D.F.: SARH.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicas). 1988. Estudio para evitar la contaminación del acuífero del Valle de México. Contrato CAVM 85–406. Mexico, D.F.: Instituto Geofísica de la UNAM, Comisión de Aguas del Valle de México de SARH.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Sarti-Gutierrez, E.J., Q.F.R.Parrilla-Cerrillo, and S.Vazquez-Barojas. 1989. Control sanitario de alimentos en las ciudad de Mexico. *Salud Publico de Mexico* 31(1):82-90.
- Schteingart, M. 1993. Interview, El Colegio de México, February 23 and 25.
- Sepulveda, A.J., W.Willett, and A.Munoz. 1978. Malnutrition and diarrhea: A longitudinal study among urban children. *Am. J. Epidemiology* 127:365-376.
- Simonian, L. 1988. Pesticide use in Mexico: decades of abuse. *Ecologist* 18(2-3):82-87.
- Shaw, D., R.Henderson, and M.Cardona. 1992. Urban drought response in Southern California: 1990-91, *Journal of the AWWA* 84(10):34-41.
- Shuval, H.I. 1986. Wastewater irrigation in developing countries; health effects and technical solutions. World Bank Technical Report No. 51. Washington, DC.
- Soave, R. 1990. Treatment strategies for cryptosporidiosis. *Ann. NY Acad. Sci.* 616:442-451.
- Tchobanoglous, G., and E.D.Schroeder. 1985. *Water Quality*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development. 1992. *Manual-Guidelines for Water Reuse*. EPA/625/R-92/004. Washington, DC.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1993. *Evaluation of Mexico Environmental Laws, Regulations, and Standards*. Washington, D.C.: EPA Office of General Council.
- U.S. General Accounting Office. 1991. *U.S.-Mexico Trade; Information of Environmental Regulations and Enforcement*. GAO/NSIAD-91-227. Washington, DC.
- Ward, P. 1990. *Mexico City: The Production and Reproduction of an Urban Environment*. London: Belhaven Press.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Whittington, D. and K.Choe. 1992. Economic benefits available from the provision of improved potable water supplies. WASH Technical Report No. 77. Washington, D.C.: USAID.
- World Bank. 1991. Water: Save now or pay later. *The Urban Edge: Issues and Innovations* 15(3)1-6.
- World Bank. 1992. *World Development Report 1992: Development and the Environment*. New York: Oxford University Press.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

Appendix A

COMMITTEE MEMBER BIOGRAPHIES

CHARLES T. DUMARS, *co-chair*, is a professor of law at the University of New Mexico, where he teaches courses on water law, mining law, constitutional law, and comparative private international law. He received his B.S. in psychology from University of Oregon and his J.D. from University of Arizona. He is a member of the bar in both New Mexico and Arizona. He has served as member of the Western States Water Council and the Bureau of Land Management Advisory Board for New Mexico. Mr. DuMars was a member of the NRC Committee on Irrigation-Induced Water Quality Problems.

ISMAEL HERRERA-REVILLA, *co-chair*, holds the *Chair of Excellence* at the National University of Mexico (*Instituto Geofisica, UNAM*), and is president of the Monges López Foundation. He carried out undergraduate studies at the National University of Mexico (UNAM) in chemistry, physics, and mathematics, and earned his Ph.D. from the Division of Applied Mathematics at Brown University. He has been Director of the Institute of Geophysics at UNAM, in three different periods, and was organizer and founder of the National Council for Science and Technology (CONACYT). The distinctions he has received for his achievements are among the most important scientific prizes offered in Mexico and include the *Premio Nacional de Ciencias*, *Premio AIC*, National Investigator, and *Luis Elizondo*. He is Ex-President of both, the National Academy of Sciences and the National Academy of Engineering, of Mexico. His international activity includes editorial responsibilities and advisory positions for many societies and universities. At Princeton, he was a member of the Advisory Council (Civil Engineering and Operations Research). He is editor of the *Journal Numerical Methods for Partial Differential Equations* (John Wiley) and associate editor of *Computational Mechanics* (Springer Verlag), and a member of the editorial board of several international journals.

IRINA CECH is professor of Environmental Sciences/Hydrology at the University of Texas Houston School of Public Health. She received her M.S. in hydrology from the University of Moscow and her Ph.D. in environmental health sciences from the University of Texas. She has provided technical and regulatory guidance to the emerging environmental programs in Mexico and Latin America, as well as countries of the Common European Market, Northern

Africa, East Europe, Baltic States, and Russia. She is the author and co-author of several articles addressing the U.S.-Mexico environmental issues. Dr. Cech presently is Director of the EPA's U.S.-Mexico Border Environmental Education project and Principal Investigator of the research project studying causes of anencephaly birth defects along the U.S.- Mexico Border. In 1989, Dr. Cech was awarded a Congressional Science and Engineering Fellowship by the American Association for the Advancement of Sciences. Dr. Cech has an honorary Visiting Professor appointment (since 1986) at the Autonomous University of Ciudad Juarez, Mexico. She serves on advisory committees for the Texas Governor and state senate, the Texas Natural Resource Conservation Commission's Rio Grande Steering Committee, and the UT System U.S.-Mexico Border Health Task Force.

RANDALL CRANE is assistant professor of urban planning and environmental analysis at the University of California, Irvine, and research fellow at the Center for U.S.-Mexican Studies at the University of California, San Diego. He earned a B.A. in history at the University of California, Santa Barbara; a master's degree in city and regional planning from Ohio State University; and a Ph.D. in urban studies and planning from Massachusetts Institute of Technology. His research interests are environmental policy and infrastructure planning, including water demand, cost benefit analysis, and public finances of development. As a Fulbright Scholar, Dr. Crane was a visiting professor at the Center for the Study of Economics at El Colegio de México in Mexico City where he taught and undertook research on urban growth and development in Mexico City.

CRISTINA CORTINAS-DE NAVA is Assistant Director at the National Institute of Ecology (*Instituto Nacional de Ecología de SEDESOL*). She obtained her B.Sc. in biology at the School of Sciences of the National University of Mexico (UNAM). She then moved to the School of Sciences at Orsay, France, where she obtained her M.Sc. and Ph.D., in 1970. She was a principal researcher and in charge of the Department of Biology of Nutrition of the Mexican Institute of Social Security (IMSS) from 1970–71. For 18 years she did research in public health problems at Institute for Biomedical Research of UNAM and founded the Laboratory of Genetic Toxicology and Center for Environmental Research. From 1989 to 1991, she was General Director of Environmental Health at the Ministry of Health. She is an honorary member of the National System of Research (SNI).

RICHARD S.ENGELBRECHT is professor of environmental engineering at the University of Illinois at Urbana-Champaign. He received an A.B. from Indiana University; M.S. and Sc.D. from the Massachusetts Institute of Technology. Dr. Engelbrecht is distinguished in the fields of water-pollution research

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

and water-quality control. He is a member of the National Academy of Engineering. In 1986 was the chairman of the National Research Council's Committee on Recycling, Reuse, and Conservation in Water Management for Arid Areas, and in 1988–90 he served as chairman of the Committee to Review the U.S.G.S National Water Quality Assessment Pilot Program. He was also chairman of the Water Science and Technology Board's colloquium on NAWQA and a founding member of the Water Science and Technology Board.

ROBERT N. FARVOLDEN is distinguished professor emeritus at the University of Waterloo, and is Senior Scientist with the National Ground Water Association. He received his B.Sc. and M.Sc. from the University of Alberta, and his Ph.D. in hydrogeology from the University of Illinois. Dr. Farvolden founded the graduate program in ground water hydrology at the University of Waterloo. His main research interests are in ground water resources, sustainable yield, ground water/surface water relations, and ground water contamination, and has worked on field studies of the physical hydrogeology, water quality, and isotope hydrology in the Valley of Mexico.

HELEN INGRAM is director of the Udall Center for Studies in Public Policy. She is also a professor in the Department of Political Science and the School of Public Administration and Policy, with a joint appointment in the Department of Hydrology and Water Resources. She earned a B.A. in government from Oberlin College and a Ph.D. in public law and government from Columbia University. Dr. Ingram's major fields of interest are the formation and implementation of public policy, water resources policy, environmental policy, and U.S.-Mexico relations. She has conducted considerable research on public policy aspects of water resources, including ground water management, and has written books and journal articles on water management problems in the West. Dr. Ingram has served on several NRC committees, and was a past member of the Water Science and Technology Board and the Commission on Geosciences, Environment, and Resources.

JOSE RAMON COSSIO-DIAZ is professor of constitutional law at ITAM. He received his law degree and a Master in Constitutional Law and Administration from the National University of Mexico, and attended the Center for Constitutional Studies in Madrid, Spain. He received his doctorate from School of Law at the *Universidad Complutense* of Madrid. Dr. Cossio has held many positions including Research Associate at the Institute of Legal Studies; Assistant to the President of the Commission on Human Rights. Special Assistant to the Secretary of the Supreme Court of Mexico. Among his many activities, Dr. Cossio is Editor of the *Boletín del Instituto Iberoamericano de Derecho constitucional* of UNAM; his is a member of the National System of Researchers since 1989; member of the *Comité Organizador del Seminario Internacional de*

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

Estados sobre Teoría y Filosofía del Derecho de Eduardo García Maynez of the Instituto Tecnológico Autónomo de México y la Escuela Libre de Derecho; member of the Consejo Consultivo del Instituto de Administración Pública del Estado de Colima; and a member of the Mexico Academy of Science.

LUCRECIA LOZANO-GARCIA is director of the Department of International Relations at the Institute of Technology and Higher Learning of Monterrey, Mexico, where she is also a professor of political science. She earned a B.A. in history of art at the Universidad Iberoamericana in Mexico City, and obtained an M.Sc. and a Ph.D. in sociology at the Faculty of Political and Social Sciences of UNAM. She has carried out extensive socio-political studies with the Latin-American Studies Center (CELA), of the Faculty of Political and Social Sciences of UNAM, and the Mexican National System of Research (SNI).

RUBEN MARTINEZ-GUERRA studied at the Monterrey Institute of Technology and Higher Learning (ITESM), in Monterrey, N.L. Mexico to obtain his B.Sc. in Civil Engineering in 1965. He worked for private companies dealing with groundwater hydrology in Socorro, New Mexico. In 1970 he obtained his M.Sc. in Geophysics and Ground Water Hydrology at the New Mexico Institute of Mining and Technology. From 1970 to the present time, he has been working as a private consultant in Geohydrology in more than 300 regional studies in Mexico. Since 1972 he has taught at the University of Mexico (UNAM) in geohydrology. Since 1988 he has been at the *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, (IMTA), and is member of the *Consultivo Técnico* of the National Water Commission (CNA).

JESUS KUMATE-RODRIGUEZ served as the Secretary of Health for the Ministry of Health (*Secretaría de Salud*) from 1988 to 1994, and is currently president of the Executive Council of the World Health Organization. Dr. Kumate has been a professor at the *Escuela Médico Militar*, the National University, and the *Instituto Politécnico Nacional*. He has been a researcher at the *Hospital Infantil de México* since 1953, a National Researcher at *Secretaría de Educación Pública* since 1985, and a member of *El Colegio Nacional* since 1974. He obtained his medical degree at the *Escuela Médico Militar* in 1946, and his medical residence at the *Hospital Central Militar* in 1947–1948. He received a doctorate in science at the *Escuela Nacional de Ciencias Biomédicas, Instituto Politécnico Nacional* in 1963. He was Director at the *Hospital Infantil de México, SSA* from 1979–1980; Coordinator of the *Institutos Nacionales de Salud*, 1983–1985; and Assistant Secretary Health Services, 1985–1988. Dr. Kumate is a member of the *Academia Nacional de Medicina, A.C.*

JUAN MANUEL-MARTINEZ is General Director of Construction and Hydraulic Operation Department (DGCOH) of the Federal District. He obtained his B.S. in engineering at the School of Engineering and his M.S. in environmental sanitary engineering at UNAM. Among his former positions, he has been Executive Director of Housing and Urban and Social Development, former Director General of DGCOH (1984–85) as well as many other important positions at with the Mexico City government. Since 1973, he has been a professor in the division of continuing education of the Engineering Faculty at UNAM. He was vice-president of the College of Civil Engineering of Mexico (1992–1993), and is currently president of the *Sociedad Mexicana de Ingenieros del Distrito Federal*.

CARLOS VELEZ-OCÓN is General Director of the National Institute of Nuclear Research (ININ). He earned his M.S. and Ph.D. in nuclear engineering from Michigan University. He has been an advisor in nuclear technology for the *Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal* (SEMIP). He has held positions as visiting professor in the *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales* at Politechnical University of Madrid, Adjunct General Director of the Atomic Energy International Agency at Vienna, and chief of the Nuclear Engineering Department at the Federal Commission of Electricity (CFE). He is a member of the American Nuclear Society, National Academy of Engineering of Mexico, *Academia Mexicana de Ingeniería, Academia Mexicana de Física, and Sociedad Mexicana Nuclear*.

DAVID WILK-GRABER is an independent consultant in Mexico City where he is coordinating several projects including several World Bank programs for rapid environmental assessment and environmental planning; a master environmental plan for San Pedro Sula, Honduras, and federal reform programs in the Mexico City Federal District. He earned a professional degree (B.A. equivalent) in Architecture at the Mexico National University (UNAM); a master's degree in city and regional planning at the University of California in Berkeley; and a Ph.D. in environmental planning at the University of California in Berkeley. Previously Dr. Wilk was a professor at the *Centro de Investigación y Docencia Económicas, A.C.* and has held numerous consulting positions. He was a Fulbright scholar, participating in a Mexico-U.S. Mutual Educational Exchange program at U.C., Berkeley. His research interests include the impacts of environmental regulations and effects of economic incentives, the use of geographic information systems, and aspects of urban growth.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

STAFF MEMBER BIOGRAPHIES

GARY DAVID KRAUSS, program officer at the National Research Council's Water Science and Technology Board, served as lead study director for the Committee on the Mexico City Water Supply. He earned a B.A. in zoology from Drew University, and a M.S. in ecology from the Pennsylvania State University, with advanced studies in Remote Sensing of Earth Resources and Geographic Information Systems (GIS). He previously served in the U.S. Peace Corps in Paraguay, was a biologist for the U.S. Forest Service and U.S. Bureau of Land Management, and worked as a private consultant for environmental applications of GIS.

JULIA EVA MELCHOR-SANCHEZ, program assistant for *la Fundación Ricardo Monges López, A.C.*, served as study director for the Committee on the Mexico City Water Supply. She earned a B.A. in Biology from the National University of Mexico (UNAM), received a scholarship from National Science Foundation (CONOCYT), and was a professor at the School of Sciences at UNAM. Ms. Melchor has participated in several CONOCYT projects dealing with ground water and geophysics.

ALEJANDRO LOZANO-GUZMAN, who also served as study director for the Committee on the Mexico City Water Supply, is Director of Equipment for the Mexico Institute of Transportation, and a professor at the School of Engineering at the University of Querétaro. He specialized in aeronautic radio maintenance in the International Center for Civil Aviation Training in Mexico, received a B.S. and M.S. in Mechanical Engineering from the National University (UNAM), and a PhD from the University of Newcastle, England. His research and work has been on the effects of mechanical vibrations and force in the design of machines. He is a member of the *Sistema Nacional de Investigadores*, and is a member of the National Academy of Engineering (ANIAC).

GREGORY KIM NYCE, senior project assistant at the National Research Council's Water Science and Technology Board, served as project assistant for the Committee on the Mexico City Water Supply. He received his B.A. in psychology from Eastern Mennonite University.

Appendix B

STUDY AFFILIATES

MANUEL AGUILAR ROMO, Dirección de Saneamiento Básico de la Dirección General de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud

SERGIO AJURIA GARZA, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

LÁZARO ALANÍS CABRERA, Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México

ROCÍO ALATORRE EDÉN, Escuela de Salud Pública de México, del Instituto Nacional de Salud Pública de la Secretaría de Salud

DANIEL JOEL ARCOS HERNÁNDEZ, Gerencia de Aguas del Valle de México, de la Comisión Nacional del Agua

MARIA AURORA ARMIENTA, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

PABLO BARCENAS BEUTELSPACHER, Gerencia de Aguas del Valle de México, de la Comisión Nacional del Agua

JORGE EUGENIO BARRIOS, Comisión Nacional del Agua

ALEJANDRO CANO RUIZ, Instituto Nacional de Ecología, de la Secretaría de Desarrollo Social

CUAUHTÉMOC CARREÑO RANGEL, Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México

JOEL CARRILLO RIVERA, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

ARTURO CORREA CAMACHO, Subdirección de Desarrollo Tecnológico del Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua de la DGCOH

ALEJANDRA CORTÉS-SILVA, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

MIGUEL ANGEL CORTÉS PEREZ, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal

CARLOS CRUICKSHANK VILLANUEVA, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

GERARDO CRUICKSHANK GARCIA, Gerente del Proyecto del Lago de Texcoco

JOSÉ CUENCA DARDÓN, Dirección de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito Federal

RUBEN CHÁVEZ GUILLÉN, Comisión Nacional del Agua

JAIME DURAZO LOZANO, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

TOMÁS GONZÁLEZ MORÁN, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

FERNANDO GONZÁLEZ VILLARREAL, Comisión Nacional del Agua

XAVIER HARO SOLÓRZANO, Gerencia de Aguas del Valle de México, de la Comisión Nacional del Agua

JAN HENDRICKS, Institute of Mining and Technology, Socorro, New México

GUILLERMO HERNÁNDEZ GARCÍA, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

ROSARIO ITURBE ARGUELLES, Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

JUAN MANUEL LESSER ILLADES, Lesser y asociados

FELIPE LÓPEZ SÁNCHEZ, Dirección General de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito Federal

GREGORIO MARTÍNEZ RAMÍREZ, Subdirección de Desarrollo Tecnológico del Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua de la DGCOH

MARIZA MAZARI HIRIART, Centro de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México

RODRIGO MEDINA BAÑUELOS, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

ESTELA PATRICIA MEZA, Dirección de Saneamiento Básico de la Dirección General de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud

CLAUDIO MOLINA TORRES, Comisión Nacional del Agua

FEDERICO MOOSER HAWTREE, Geólogo de la Ciudad de México, Dirección General de Obras del Departamento del Distrito Federal

ADRIAN ORTEGA GUERRERO, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

- GILDARDO ORTIZ FUENTES, Comisión de Aguas del Departamento del Distrito Federal
- MANUEL ORTIZ GARCÍA, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Gobierno del Estado de México
- FILIBERTO PÉREZ DUARTE, Dirección de Saneamiento Básico de la Dirección General de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud
- ENRIQUE PÉREZ SANGERMAN, Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México
- NELSON PIÑON MARTÍNEZ, Gerencia de la Comisión Nacional del Agua en el Estado de México
- GENARO RAMÍREZ LÓPEZ, Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud
- RAMIRO RODRÍGUEZ CASTILLO, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México
- FERMÍN RIVERA AGUERO, Dirección de Investigación de la ENEP-Iztacala
- JULIA RIVERA JARAMILLO, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal
- LEOPOLDO RODARTE RAMON Hydroalegro, S.A.
- JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ TIRADO, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal
- ELIAS SAHAB HADDAD, Gerencia Regional de Aguas del Valle de México de la Comisión Nacional del Agua
- BEATRIZ SANTAMARÍA RAMÍREZ, Subdirección de Desarrollo Tecnológico del Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua de la DGCOH
- CARLOS SANTOS BURGOA, Escuela de Salud Pública de México, del Instituto Nacional de Salud Pública de la Secretaría de Salud
- CONRADO SARMIENTO BLEICHER, Dirección General de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito Federal
- ARTURO SIL PLATA, Dirección de Información y Emergencias Epidemiológicas de la Secretaría de Salud
- ROBERTO TAPIA CONYER, Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud
- OSCAR VELÁZQUEZ MONROY, Dirección de Información y Emergencias Epidemiológicas de la Secretaría de Salud.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

EL SUMINISTRO DE AGUA DE LA CIUDAD DE MEXICO

Mejorando la Sustentabilidad

Comité de Academias para el Estudio de Suministro de Agua de la
Ciudad de México

Water Science and Technology Board

Commission on Geosciences, Environment, and Resources

National Research Council

y

Academia de la Investigación Científica, A.C.

Academia Nacional de Ingeniería, A.C.

NATIONAL ACADEMY PRESS

Washington, D.C. 1995

NOTA: El proyecto contenido en este reporte fue aprobado por la Junta Directiva del Consejo Nacional de Investigación, cuyos miembros provienen de los consejos de la Academia Nacional de Ciencias, la Academia Nacional de Ingeniería y el Instituto de Medicina; los miembros de la junta responsables de su elaboración fueron escogidos en base a su especial capacidad, procurando establecer una participación equilibrada.

Además, el reporte fue revisado por otro grupo de distinguidos especialistas, en cumplimiento de los procedimientos aprobados por el Comité de Revisión de Reportes, el cual agrupa a miembros de la Academia Nacional de Ciencias, la Academia Nacional de Ingeniería y el Instituto de Medicina.

El proyecto se ha llevado a cabo gracias al apoyo de la Fundación Ford (acuerdo No. 910-1413), la Fundación Tinker, el Fondo del Consejo Nacional de Investigación, la Agencia Norteamericana de Protección Ambiental (bajo el acuerdo No. CX-820728-01-0), el CONACYT, la Fundación Rockefeller, la Fundación MacArthur, la UNDP (en base al acuerdo MEX/93/001/A/01/99) y la Secretaría de Salud.

Portada: *Paisaje* por Emilio Rosenblueth, óleo sobre tela, 1938; colección de la Familia Rosenblueth. El presentar esta pintura se hace en memoria de Emilio Rosenblueth D. (1926-1994), hijo del artista, quien llevó a cabo una gran labor para el avance de la ciencia en México y fue un eslabón muy importante para el intercambio de conocimientos con la comunidad científica de los Estados Unidos. Dr. Rosenblueth D. fue director del Instituto de Ingeniería de UNAM, coordinador de Investigaciones Científicas de UNAM, presidente de la Academia de Investigación Científica, A. C., sub-secretaria de la Secretaría de Educación, y miembro extranjero asociado de U.S. National Academy of Science y U.S. National Academy of Engineering. Agradecimiento especial se le da a la Sra. Alicia Laguette de Rosenblueth, esposa y compañera de Emilio y a su familia por su autorización para reproducir la pintura.

Library of Congress Catalog Card No. 95-67404

International Standard Book Number 0-309-05245-9

Additional copies of this report are available from: National Academy Press 2101 Constitution Ave., NW Box 285 Washington, DC 20055 800-624-6242 202-334-3313 (in the Washington Metropolitan Area)

B-533

Copyright 1995 by the National Academy of Sciences. All rights reserved.

Printed in the United States of America

COMITÉ PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

CHARLES T. DuMARS, *co-Presidente*, University of New Mexico, Albuquerque
ISMAEL HERRERA-REVILLA, *co-Presidente*, Academia Nacional de
Ingeniería, A.C., and Instituto de Geofísica, UNAM, México, D.F.

IRINA CECH, University of Texas, Houston

RANDALL CRANE, University of California, Irvine

CRISTINA CORTINAS-DE NAVA, Instituto Nacional de Ecología de la
Secretaría de Desarrollo Social, México, D.F.

JOSE RAMÓN COSSÍO-DÍAZ, Suprema Corte de Justicia de la Nación,
México, D.F.

RICHARD S. ENGELBRECHT, University of Illinois at Urbana-Champaign

ROBERT N. FARVOLDEN, University of Waterloo, Canada, and National
Ground Water Association, Dublin, Ohio

HELEN INGRAM, University of Arizona, Tucson

JESUS KUMATE-RODRÍGUEZ, Secretaría de Salud, México, D.F.

LUCRECIA LOZANO-GARCÍA, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores
de Monterrey, Nuevo León, México

JUAN MANUEL MARTINEZ-GARCÍA, Dirección General de Construcción y
Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, México, D.F.

RUBÉN MARTÍNEZ-GUERRA, Comisión Nacional del Agua, México, D.F.

CARLOS VÉLEZ-OCÓN, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares,
México, D.F.

DAVID WILK-GRABER, Consultor en desarrollo urbano y medio ambiente,
México, D.F.

WSTB LIAISON

KENNETH D. FREDERICK, Resources for the Future, Washington, D.C.

PERSONAL DE APOYO DEL COMITÉ

GARY D. KRAUSS, Director de Estudios, Water Science and Technology Board,
National Research Council

JULIA MELCHOR-SÁNCHEZ, Director de Estudios, Fundación Ricardo
Monges López, A.C.

ALEJANDRO LOZANO-GUZMÁN., Director de Estudios, Academia Nacional
de Ingeniería, A.C.

GREGORY NYCE, Asistente del Proyecto, Water Science and Technology
Board, National Research Council

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY BOARD

DAVID L.FREYBERG, *Chair*, Stanford University, California
BRUCE E.RITTMANN, *Vice Chair*, Northwestern University, Evanston, Illinois
LINDA M.ABRIOLA, University of Michigan, Ann Arbor
J.DAN ALLEN, Chevron USA, Inc., New Orleans, Louisiana
PATRICK L.BREZONIK, University of Minnesota, St. Paul
WILLIAM M.EICHBAUM, The World Wildlife Fund, Washington, D.C.
WILFORD R.GARDNER, University of California, Berkeley
WILLIAM L.GRAF, Arizona State University, Tempe
THOMAS M.HELLMAN, Bristol-Myers Squibb Company, New York, New York
CHARLES C.JOHNSON, U.S. Public Health Service (Retired), Washington, D.C.
CAROLA.JOHNSTON, University of Minnesota, Duluth
WILLIAM M.LEWIS, JR., University of Colorado, Boulder
CAROLYN H.OLSEN, Brown and Caldwell, Pleasant Hill, California
CHARLES R.O'MELIA, John Hopkins University, Baltimore, Maryland
IGNACIO RODRIGUEZ-ITURBE, Texas A&M University, College Station
HENRY VAUX, JR., University of California, Riverside

Staff

STEPHEN D.PARKER, Director
SHEILA D.DAVID, Senior Staff Officer
CHRIS ELFRING, Senior Staff Officer
JACQUELINE MACDONALD, Senior Staff Officer
GARY D. KRAUSS, Staff Officer
ETAN GUMERMAN, Research Associate
JEANNE AQUILINO, Administrative Associate
ANITA A.HALL, Administrative Assistant
ANGELA BRUBAKER, Senior Project Assistant
MARY BETH MORRIS, Senior Project Assistant
GREGORY NYCE, Senior Project Assistant

COMMISSION ON GEOSCIENCES, ENVIRONMENT, AND RESOURCES

M.GORDON WOLMAN (*Chairman*), The Johns Hopkins University,
Baltimore, Maryland

PATRICK R.ATKINS, Aluminum Company of America, Pittsburgh,
Pennsylvania

EDITH BROWN WEISS, Georgetown University Law Center, Washington,
D.C.

JAMES P.BRUCE, Canadian Climate Program Board, Ottawa, Ontario, Canada

WILLIAM L.FISHER, University of Texas, Austin

EDWARD A.FRIEMAN, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla,
California

GEORGE M.HORNBERGER, University of Virginia, Charlottesville

W.BARCLAY KAMB, California Institute of Technology, Pasadena

PERRY L.MCCARTY, Stanford University, California

S.GEORGE PHILANDER, Princeton University, New Jersey

RAYMOND A.PRICE, Queen's University at Kingston, Ontario, Canada

THOMAS A.SCHELLING, University of Maryland, College Park

ELLEN SILBERGELD, Environmental Defense Fund, Washington, D.C.

STEVEN M.STANLEY, The Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland

VICTORIA J.TSCHINKEL, Landers and Parsons, Tallahassee, Florida

Staff

STEPHEN RATTIEN, Executive Director

STEPHEN D.PARKER, Associate Executive Director

MORGAN GOPNIK, Assistant Executive Director

JEANETTE SPOON, Administrative Officer

SANDI FITZPATRICK, Administrative Associate

ACADEMIA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA, A.C.

MAURICIO FORTES-BESPROSVANI, Presidente
JUAN RAMON DE LA FUENTE-RAMIREZ, Vicepresidente
LINDA MANZANILLA-NAIM, Secretaria Electa
RUBEN BARRERA-PEREZ, Secretario Designado
SAUL VILLA-TREVIÑO, Tesorero

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERIA, A.C.

HECTOR NAVA-JAIMES, Presidente
LUIS ESTEVA-MARABOTO, Vicepresidente
CRISTINA VERDE-RODARTE, Secretario
OCTAVIO MANERO-BRITO, Tesorero

Prefacio

La creciente urbanización es una realidad insoslayable en el mundo cambiante de hoy. En los países en desarrollo, la falta de oportunidades de trabajo en las áreas rurales, la declinación de las economías de subsistencia y la esperanza de acceder a una vida mejor han propiciado el nacimiento de las modernas megalópolis. Desafortunadamente, la infraestructura urbana, las instituciones y los recursos naturales disponibles han resultado a menudo insuficientes para responder al ritmo de expansión de los nuevos asentamientos. En todo el mundo se plantea una pregunta central: “¿cómo integrar los principios del desarrollo sostenido bajo circunstancias de esta naturaleza?”. El agua es un recurso vital insustituible. Su abastecimiento, localización y desecho presenta numerosos retos, los cuales deben ser enfrentados para satisfacer las crecientes demandas de estas nuevas áreas metropolitanas.

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) ejemplifica estos retos. La demanda de agua para los 20 millones de personas que habitan en el área, significan un desafío formidable para quienes tienen la responsabilidad de abastecer a esta población. Como el agua superficial en la Cuenca de México es muy escasa, la principal fuente de abastecimiento para la ciudad es el Acuífero de la Ciudad de México, localizado en el subsuelo del área metropolitana. Aunque el volumen de agua almacenada es muy grande, su calidad es susceptible de sufrir un serio deterioro, debido a la permanente actividad que tiene lugar sobre el acuífero. La falta de tratamiento a las aguas residuales y el control insuficiente de los desechos peligrosos han colocado a este acuífero—y a todo el sistema de distribución de agua—en riesgo de contaminación micro

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

biológica y química. Además, el uso del acuífero se ve restringido debido a una serie de problemas relacionados con el hundimiento del suelo. En efecto, desde que se inició la explotación del agua subterránea en el siglo XIX a la fecha, el constante descenso en los niveles de agua subterránea ha provocado un hundimiento cercano a los 7.5 metros en el centro de la Ciudad de México. Este hundimiento ha aumentado la propensión natural de la ciudad a las inundaciones, al tiempo que ha dañado la infraestructura urbana.

Los intentos de controlar las inundaciones, así como los de abastecer de agua y servicios de desagüe a la ZMVM, han puesto en marcha proyectos masivos de obras civiles, tales como la construcción del sistema de drenaje profundo y la importación de agua desde la Cuenca del Cutzamala. La actitud prevaleciente entre la población ha sido suponer que el agua es propiedad del Estado y que, por tal razón, debe proporcionarse como parte de un derecho constitucional (aunque no está estipulado de esta forma en la Constitución) y gratuito. Tradicionalmente, los servicios de abastecimiento de agua y de drenaje han recibido importantes subsidios del gobierno federal. Como resultado, ha sido necesario enfrentar severas pérdidas financieras, así como un constante desperdicio del recurso causado por fugas de agua y un uso ineficiente. El rápido crecimiento urbano y la falta de sustentabilidad financiera han restringido la capacidad del gobierno para satisfacer la demanda de agua, ampliar el sistema de distribución a las áreas donde el servicio es deficiente, así como para proporcionar un tratamiento adecuado a las aguas residuales antes de desecharlas o reutilizarlas.

Desde 1988, México ha llevado a cabo grandes reformas enfocadas a la localización de nuevas fuentes de agua y al mejoramiento de los servicios de abastecimiento. Sin embargo, el futuro del agua en la ZMVM, al igual que en muchas ciudades del mundo, es incierto. En un sentido, el caso de esta zona de México plantea una situación extrema que podría presentarse en muchos otros lugares. Debido a la complejidad del problema y a su relevancia como ejemplo para otras ciudades de México y el mundo, la Academia de la Investigación Científica A.C. y la Academia Nacional de Ingeniería, A.C., ambas de México, junto con el Consejo Nacional de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos (*the National Research Council of the US National Academy of Sciences*) han llevado a cabo un estudio binacional. El grupo de Academias también incluye a la Academia Nacional de Medicina de México, así como al Instituto de Medicina y a la Academia Nacional de Ingeniería de los Estados Unidos. Esta asociación no gubernamental tiene como objetivo reforzar las actividades de ciencia y tecnología en ambos países, a través de actividades conjuntas. Un propósito de esta asociación es llevar a cabo estudios para dar lineamientos de política y que sirvan como base para desarrollos científicos y tecnológicos.

En un principio, un grupo de planeación formado por representantes de las distintas academias se reunió el año de 1990 en Cocoyoc, en el estado mexicano

de Morelos, bajo el patrocinio de las fundaciones Tinker, MacArthur y Rockefeller; en esta reunión se concluyó que era importante y oportuno realizar un estudio sobre el Acuífero de la Ciudad de México como fuente abastecedora de agua. Durante el desarrollo del tema, los participantes llegaron también a la conclusión de que dicho estudio tendría mayor utilidad para quienes toman decisiones a nivel local y regional si se evaluaban los problemas relacionados con el servicio de agua en general. Por lo tanto, el alcance del proyecto se amplió para abarcar aspectos técnicos, sociales, económicos e institucionales. En enero de 1992, las academias norteamericanas y mexicanas eligieron un comité binacional y multidisciplinario de expertos voluntarios. El estudio fue patrocinado por la Fundación Ford, la Fundación Tinker, la Agencia Norteamericana de Protección Ambiental, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, la Secretaría de Salud de México, el Consejo de Investigación de los Estados Unidos y la Fundación John D. y Catherine MacArthur.

Este reporte bilingüe resume la mayor parte de la información obtenida durante el desarrollo del estudio; asimismo, tiene como meta difundir sus conclusiones y recomendaciones entre científicos, funcionarios y el público interesado, tanto en México como en los Estados Unidos. La Academia Nacional de Ingeniería y la Academia de la Investigación Científica de México, han elaborado por su parte un reporte técnico en español más amplio; que sirvió de base y al cual nos referiremos a lo largo de este documento. Este trabajo ha sido editado en dos idiomas, el equivalente en español se espera sea de utilidad inmediata para las comunidades técnicas, de investigación y de planeación en México, al poner en marcha los nuevos programas diseñados para mejorar la sustentabilidad de las reservas de agua en la ZMVM.

Ambos reportes son producto del estudio conjunto, así como de una serie de investigaciones y deliberaciones llevadas a cabo durante un periodo de 30 meses, las cuales incluyeron diversas reuniones formales en ambos lados de la frontera, visitas de campo e intercambios entre los miembros del comité. Los miembros del comité responsable de este reporte han llevado a cabo un enorme esfuerzo; no obstante, no alcanzaron estos significativos resultados sin ayuda. En primer lugar, el comité está en deuda con un gran número de personas—mencionadas al principio de este reporte como “asociados al proyecto”—, quienes aportaron a este estudio, de manera voluntaria, su tiempo y sus conocimientos. Su participación enriqueció los reportes y creó un amplio y receptivo público para escuchar las conclusiones. Los miembros del comité y los asociados al proyecto llevaron a cabo sus tareas con entusiasmo, amistosa cooperación y verdadero afecto.

Al igual que en otros reportes similares producidos a través del esfuerzo de un comité, su éxito ha dependido también de las herramientas, dedicación y energía de los colaboradores asignados. La naturaleza única de este estudio—el primer estudio en colaboración llevado a cabo por el Consejo Nacional de In

vestigación y las Academias Mexicanas de Investigación Científica y de Ingeniería—hace mayor la complejidad de lo que de por sí representa un gran desafío. El comité tuvo la suerte de contar con los servicios del director de estudios del Consejo Nacional de Investigación, Gary Krauss, cuyas contribuciones al estudio y el reporte son extensas. Además de prestar su habilidad y su experiencia editorial, Gary mantuvo el nivel de comunicación entre ambas fronteras y ayudó a resolver los asuntos técnicos y culturales que a menudo enfrentaba el comité. También merece un agradecimiento especial al asistente del proyecto, Gregory Nyce, quien realizó los apoyos logísticos para la coordinación del comité y preparó el manuscrito del reporte bilingüe para su publicación.

En México, un equipo pequeño pero muy eficiente colaboró en el proyecto. Las contribuciones de los directores de estudio de la Academia Nacional de Ingeniería de México son particularmente significativas. El manejo efectivo y la coordinación en las primeras fases del proyecto por parte de Alejandro Lozano—quien es también miembro de la Academia Nacional de Ingeniería de México—contribuyó a que individuos de formaciones y disciplinas diversas trabajaran juntos como un solo comité. Julia Melchor—directora del estudio en las últimas fases del proyecto—manejó también con eficiencia la muy difícil logística de la comunicación, las reuniones del comité y la compilación de las versiones en español del proyecto. La coordinación general y la supervisión del proyecto a lo largo de sus distintas etapas fueron responsabilidad de los copresidentes del proyecto.

Integrar información sobre el abastecimiento, la distribución, el drenaje, la calidad y las instituciones del agua no es tarea fácil para ninguna gran ciudad. En México, los datos recolectados por las autoridades federales, estatales y locales para el manejo y la planeación del agua, son con frecuencia irregulares, raramente se publican y nunca han sido integrados ni analizados por la comunidad científica. El comité y otras organizaciones participantes en este estudio, consideran que este esfuerzo representa el primer intento de presentar en forma integral un panorama del abastecimiento de agua en la ZMVM.¹

Este trabajo no habría sido posible sin el significativo apoyo y cooperación de las siguientes instituciones mexicanas, las cuales otorgaron personal, información y análisis críticos: el Departamento del Distrito Federal, a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica y la Dirección de Servicios Urbanos; la Comisión Nacional del Agua, a través de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México; el Gobierno del Estado de México, a través de su Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento; la Secretaría de Salud, a través de sus direcciones generales de Saneamiento Ambiental y

¹ Hay que aclarar que los datos sobre los recursos de agua, especialmente los datos referentes a la cantidad de agua proporcionada a la ZMVM, están cambiando rápidamente. Los datos presentados en este reporte son aproximadamente los de marzo de 1994.

Epidemiología; la Secretaría de Desarrollo Social, a través del Instituto Nacional de Ecología; la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de sus Institutos de Geofísica e Ingeniería, el Centro de Ecología y la Escuela de Salud Pública de México; por último, la Comisión de Aguas del Distrito Federal.

Aunque un estudio de esta naturaleza no puede identificar diseños específicos y detalles del sistema, sí plantea conceptos que deberían aumentar el interés por alcanzar un abastecimiento más sustentable para la ZMVM y otras áreas similares en todo el mundo. Llevar a cabo sus recomendaciones será, por supuesto, muy difícil, especialmente ahí donde se requieren cambios institucionales y de políticas sociales. Aún así, el comité espera que los conceptos expuestos en este reporte resulten de utilidad, no sólo para quienes toman las decisiones, los científicos y en general los ciudadanos preocupados por los recursos de agua en la Ciudad de México, sino también para quienes se interesan en el destino del agua en regiones donde existen problemas similares a los de la Ciudad de México. Cuando se trata de problemas como la localización de recursos, la protección ambiental y la preocupación por el futuro del hombre, existe de hecho una sola comunidad, la humanidad en todo el mundo, que comparte la meta común de entregar a las futuras generaciones un planeta al menos tan saludable como cuando llegamos a él. Por último, el comité espera que el esfuerzo realizado contribuya a fomentar el uso de asesorías independientes de las academias mexicanas de investigación científica e ingeniería, para mejorar las bases tecnológicas y científicas que permitan resolver problemas y establecer lineamientos de política en beneficio de la comunidad.

CHARLES T. DUMARS e ISMAEL HERRERA REVILLA, *Co-Presidentes*
Comité para el Abastecimiento de Agua a la Ciudad de México
Marzo de 1995

THE NATIONAL ACADEMIES

National Academy of Sciences
National Academy of Engineering
Institute of Medicine
National Research Council

La Academia Nacional de Ciencias es una sociedad privada, sin fines de lucro y autosostenible, formada por distinguidos académicos al servicio de la investigación en ciencias e ingeniería, del fomento a las actividades científicas y tecnológicas, así como de su empleo en beneficio de la comunidad. En base a la facultad que le otorgara el Congreso en 1863, la Academia tiene también la obligación de asesorar al gobierno federal en asuntos relativos a los campos de la ciencia y la tecnología. El presidente de la Academia Nacional de Ciencias es el Dr. Bruce Alberts.

La Academia Nacional de Ingeniería, fundada en 1964 como parte de la Academia Nacional de Ciencias, es una organización paralela integrada por destacados ingenieros. Posee autonomía administrativa y para la elección de sus miembros; asimismo, comparte con la Academia Nacional de Ciencias la responsabilidad de asesorar al gobierno federal. La Academia Nacional de Ingeniería también patrocina programas destinados a subsanar necesidades nacionales en áreas de su competencia, fomenta la educación y la investigación y otorga reconocimientos a la excelencia entre los ingenieros. El Dr. Robert M. White es el presidente de la Academia Nacional de Ingeniería.

L'Institut de Médecine a été établi dans En 1970 la Academia Nacional de Ciencias creó el Instituto de Medicina, con el objeto de consolidar la participación de profesionistas destacados en el examen de las políticas relativas a la salud pública. Para asesorar al gobierno federal, el Instituto de Medicina actúa bajo la responsabilidad que le confiere la Academia Nacional de Ciencias a través del mandato que otorgara el congreso; para identificar problemas de atención médica, investigación y educación, actúa bajo iniciativa propia. Su presidente es el Dr. Kenneth I.Shine.

El Consejo Nacional de Investigación fue organizado por la Academia Nacional de Ciencias en 1916, para involucrar a la gran comunidad científica y tecnológica en los principales fines de la Academia: promover el conocimiento y asesorar al gobierno federal. Al funcionar en concordancia con las políticas generales determinadas por la Academia, el Consejo se ha convertido en la principal organización operativa de la propia Academia Nacional de Ciencias y de la Academia Nacional de Ingeniería, para cumplir con la función de prestar servicios al gobierno, al público y a las comunidades relacionadas con la ciencia y la ingeniería. El Consejo funciona bajo la administración conjunta de ambas academias y del Instituto de Medicina. El Dr. Bruce Albert y el Dr. Robert M.White son, respectivamente, el presidente y el vicepresidente del Consejo Nacional de Investigación.

La Academia de Investigación Científica fue creada en agosto de 1959 y tiene como meta, entre otras, la de organizar y promover la investigación científica en todas las áreas de la ciencia. El Dr. Mauricio Fortes es su presidente.

La Academia Nacional de Ingeniería fue creada en agosto de 1974, con el fin de promover la investigación en ingeniería, fomentar la educación y el desarrollo, así como estimular las investigaciones de alto nivel y la enseñanza de calidad. Su presidente es el Dr. Héctor Nava.

www.national-academies.org

Índice

1	PANORAMA	124
2	LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO	127
3	DESCRIPCIÓN DEL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y SU EXPLOTACIÓN	131
	Hidrogeología	
	Abatimiento del nivel freático y problemas de hundimiento	
	Balance del acuífero	
4	ABASTECIMIENTO, DISTRIBUCIÓN Y AGUAS DE DESECHO	143
	Abastecimiento y distribución	
	Recolección y desecho de aguas residuales	
	Reuso del agua	
5	CALIDAD DEL AGUA Y PROBLEMAS DE SALUD	164
	Vulnerabilidad del acuífero	
	Monitoreo y certificación sanitaria	
	Calidad de las fuentes de agua	
	Problemas de la calidad del agua en el sistema de distribución	
	Problemas de salud relacionados con el agua	
6	ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA	179
	Problemas y prioridades	
	Tarifas, uso y disponibilidad en la ZMVM	
	Elementos para la administración de la demanda	
	Puesta en práctica	
7	ASPECTOS INSTITUCIONALES	199
	Instituciones relacionadas con la cantidad del agua	
	Instituciones relacionadas con la calidad del agua	
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	206
	REFERENCIAS	218
	APÉNDICES	
A	Biografías de los Miembros del Comité	228
B	Asociados al Proyecto	235

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

EL SUMINISTRO DE AGUA DE LA CIUDAD DE MEXICO

Mejorando la Sustentabilidad

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

1

Panorama

La Ciudad de México es el centro cultural, económico e industrial de la República Mexicana. Con una población que se acerca 20 millones de habitantes, equivalente a la del territorio entero de los estados de Texas o de Florida, se ha convertido en un imán de crecimiento. Desde las áreas rurales fluyen en forma constante a la región grupos migratorios conformados por personas en busca de trabajo y de los beneficios económicos que suelen generarse en los centros de poder político. Muchos de estos inmigrantes se establecen de manera ilegal en los límites urbanos, con la esperanza de que el gobierno les proporcione, eventualmente, servicios públicos.

El abastecimiento de agua y de drenaje para la creciente población de la Ciudad de México representa un gran reto. Al igual que el problema de la contaminación del aire, que demandó una atención muy importante hace 10 años, la situación del abastecimiento de agua en la ciudad se aproxima a una crisis. El continuo crecimiento urbano, junto con el escaso financiamiento, han limitado la capacidad del gobierno para extender la red de abastecimiento de agua a las áreas que carecen del servicio, para reparar fugas y para tratar las aguas residuales. Casi el setenta y dos por ciento del abastecimiento de agua de la ciudad proviene del acuífero localizado bajo el área metropolitana, el cual ha venido padeciendo una considerable sobreexplotación. Los niveles de agua del subsuelo de han venido abatiendo en el transcurso de los últimos 100 años, lo que ha provocado un hundimiento del suelo de la región; como consecuencia, el nivel de la superficie del área metropolitana ha sufrido un descenso de 7.5 metros, con respecto al nivel de referencia original. Esto propicia condiciones

para que existan más inundaciones en la ciudad, lo que a su vez provoca daños a la infraestructura—especialmente a las redes de agua potable y drenaje. Estas dificultades, combinadas con el manejo inadecuado de desechos peligrosos, provocan que el acuífero y el sistema de distribución sean vulnerable a la contaminación, con los consecuentes riesgos para la salud pública.

Este creciente problema ha llevado, recientemente, al desarrollo de nuevas leyes, al despliegue de nuevos esfuerzos para la conservación de los recursos acuíferos, al desarrollo de programas educativos y a la búsqueda de soluciones innovadoras, como la privatización del servicio de agua y su tratamiento. Será difícil revertir las tendencias pasadas y establecer nuevas estrategias de conservación, que incluyan la correcta medición del consumo, su cobro y el cumplimiento de los reglamentos.

Como la Ciudad de México, muchas de las principales ciudades del mundo enfrentan perspectivas inciertas para asegurarse un abastecimiento de agua permanente y confiable. La sustentabilidad del abastecimiento de agua en zonas urbanas está sujeta a muchos factores: la capacidad física del sistema hidrológico, la vulnerabilidad del sistema a la contaminación, la capacidad de tratamiento, la distribución y el desecho de aguas residuales, sin descontar los diversos aspectos sociales, económicos e institucionales que influyen en la capacidad de una sociedad para administrar sus recursos.

La información reunida por el Comité de estudio cubre varios tópicos de importancia, referentes a la sustentabilidad del abasto de agua para la Ciudad de México. El [capítulo 2](#) describe la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), que es el centro de este estudio. En el [capítulo 3](#), el Comité revisa las características hidrogeológicas de la porción sur de la Cuenca de México, lugar donde se ubica la Ciudad de México. El [capítulo 4](#) incluye una descripción de las distintas fuentes de agua que abastecen a la Ciudad de México, las complejidades del sistema de distribución, el tratamiento del agua y el tratamiento y desecho de aguas negras. En el [capítulo 5](#) se analiza la vulnerabilidad del acuífero, así como los problemas de la calidad del agua y sus efectos en la salud. En el [capítulo 6](#) se habla del potencial de demanda futura, las propuestas de carácter administrativo dirigidas a alcanzar un servicio de distribución de agua más equitativo y una mayor estabilidad financiera. En el [capítulo 7](#) se identifican los cambios recientes relativos a las políticas y la reglamentación del uso del agua; asimismo, se examinan algunos de los retos que las instituciones enfrentan para obtener un abasto de agua más efectivo y para lograr un mejor control de la calidad del agua.

Este reporte identifica aquellas áreas en las que se han alcanzado avances concretos, así como aquellas que permiten vislumbrar la oportunidad de mejorar el balance del abastecimiento, la demanda y la conservación del agua. En el [capítulo 8](#), el Comité en pleno recomienda atender con mayor énfasis lo relativo a la administración de la demanda de agua, a través de nuevos mecanismos de medición y recaudación, pero también de la educación orientada a la conser

vacación y los programas de reuso del agua. Hace falta un programa de investigación más amplio e integral para comprender mejor la conformación hidrológica regional. Es prioritario el tratamiento de las aguas negras municipales antes de ser vertidas a los sistemas de drenaje, para lo que se requiere además un vasto programa de protección del agua del subsuelo. Se proporcionan sugerencias para facilitar los cambios institucionales que permitan alentar una nueva perspectiva cultural sobre el valor del agua. Además de este reporte bilingüe, que resume gran parte de la información desarrollada en el transcurso del estudio, un reporte en español más detallado será publicado por la Academia Nacional de Ingeniería y la Academia de la Investigación Científica de México en 1995.

Un estudio de esta naturaleza no se propone identificar proyectos específicos. Los temas y las recomendaciones presentadas sólo tienen el propósito de ofrecer una guía general, mientras que los responsables de establecer y poner en práctica las políticas en torno al agua, tratan de llevar a cabo los distintos programas para administrar la cantidad y la calidad de los recursos acuíferos en la Zona Metropolitana del Valle de México.

2

La Zona Metropolitana del Valle de México

Por razones históricas y políticas, México es un país muy centralizado, a pesar de los esfuerzos de descentralización realizados por el gobierno en los años recientes. A causa de esto, los servicios gubernamentales y el desarrollo industrial se han concentrado en la Ciudad de México. En ella se localiza el 45 por ciento de la actividad industrial nacional y tiene lugar el 38 por ciento de su producto nacional bruto. La ciudad alberga casi todas las oficinas de gobierno, los centros de negocios nacionales e internacionales, las actividades culturales, las universidades y los institutos de investigación más importantes. El rápido crecimiento de los últimos 50 años se ha caracterizado tanto por la expansión de áreas urbanas y residenciales planeadas para las clases media y alta, como por las invasiones ilegales de tierra y los asentamientos no planificados en las áreas periféricas. A lo largo del tiempo, las autoridades gubernamentales han prestado atención a estos asentamientos irregulares, proporcionándoles servicios urbanos que incluyen el abastecimiento de agua, aunque dichos servicios han sido insuficientes e inadecuados la mayor parte del tiempo.

La Ciudad de México está ubicada en un valle en la porción sur de la Cuenca de México; este valle, situado aproximadamente a 2,400 metros sobre el nivel del mar (msnm), está rodeado de sierras de origen volcánico con cumbres que alcanzan alturas superiores a los 5000 metros. Sus principales jurisdicciones políticas son el Distrito Federal (que alberga la capital del país), la mayor parte del Estado de México, así como porciones más pequeñas de los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla ([figura 2-1](#)).

El área comúnmente conocida como la Ciudad de México estaba tradicionalmente asociada a la parte norte-centro del Distrito Federal. Con la cre

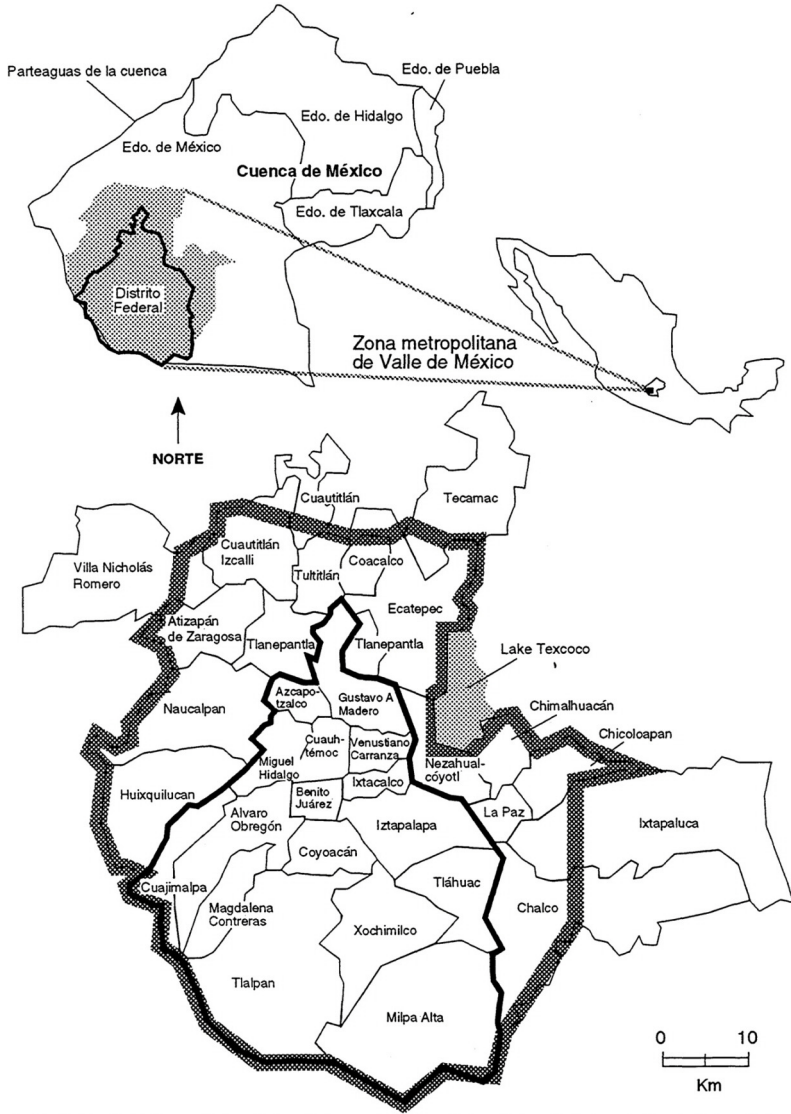


Figura 2-1 La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se compone de todo el Distrito Federal (con 16 delegaciones) y la totalidad o partes de 17 municipios de Estado de México. El límite aproximado de la ZMVM se indica con línea gruesa. La punteada muestra la localización de la ZMVM en la Cuenca de México y los límites de otros estados—México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla—que el valle abarca parcialmente.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.



Fotografía 2–1 Vista aérea del Centro de la Ciudad de México. Cortesía de Robert Farvolden.

ciente urbanización ocurrida el las últimas décadas, la designación incluye un área mayor que abarca todo el Distrito Federal y la totalidad o parte de la jurisdicción de los 17 municipios del vecino Estado de México. Las divisiones políticas de los estados mexicanos se conocen como municipios; asimismo, el Distrito Federal se divide en 16 delegaciones políticas. Para el propósito de este estudio, el área metropolitana será denominará como Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM); as las subdivisiones políticas de ambas jurisdicciones se les denominará genéricamente “municipios” (figura 2–1). Con una

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

superficie de 3,733 kilómetros cuadrados, la Zona Metropolitana del Valle de México es uno de los centros urbanos más grandes y de mayor crecimiento en el mundo.

Los cálculos de la población del la ZMVM son inexactos. Tenia 15 millones de habitantes, según el censo de 1990 (INEGI, 1991a), pero de continuar su crecimiento al ritmo actual, se prevé que para el año 2000, la ZMVM tendrá 22.3 millones. La presión demográfica y el desarrollo han acarreado, como es natural, dificultades para planear el aprovisionamiento de los limitados recursos de agua disponibles. Mientras que el crecimiento de la población en las porciones urbanizadas del DF ha disminuido, e incluso ha declinado a partir de los años ochenta, la inmigración a las zonas aledañas, especialmente el Estado de México, ha sido en gran medida la responsable de aumento significativo de la población y de la expansión urbana. Las distintas formas de asentamientos ilegales o irregulares ya señalados han significado una preocupación particular al planificar la explotación de los recurso acuíferos. Muchos de estos asentamientos, conocidos como “ciudades perdidas” o “colonias populares,” con el tiempo se establecen de manera más o menos definitiva. Eventualmente se les proporcionan servicios públicos, aunque, como ya se ha dicho, éstos suelen permanecer incompletos durante largos periodos. Los inmigrantes más recientes ocupan a menudo las áreas más inclinadas de los terrenos altos, hecho que representará una mayor complicación a la hora de intentar establecer el suministro de agua y el servicio de alcantarillado (veáse AIC-ANIAC, 1995, para detalles adicionales sobre el crecimiento del población de la ZMVM).

La larga historia como centro urbano de la porción norte del valle (historia que se inicia con la capital azteca, Tenochtitlan, en el siglo XIV), da fe de su poder de atracción. La hidrología de esta región incluye un excelente sistema acuífero y un buen número de manantiales. Sin embargo, la especial localización física de la Ciudad de México—ubicada en un valle alto dentro de una cerrada naturalmente por montañas—representa un reto singular para el suministro de agua a una población urbana de gran magnitud. Además, la ciudad está situada en el lecho de un antigua lago salino, sin un drenaje natural; esto, aunado a un patrón de lluvias de temporal intensas, dificulta el desagüe de las tormentas. No existen fuentes importantes de agua superficial cercanas susceptibles de ser aprovechadas junto con la fuente local del subsuelo. Por si fuera poco, la elevación del valle provoca que la importación de agua sea una alternativa costosa. Por último, la unidad arcillosa del subsuelo bajo el área metropolitana tiende a consolidarse debido al peso de los edificios, lo cual provoca un asentamiento diferencial que, combinado con la sobreexplotación de los acuíferos subyacentes, tiene por efecto el hundimiento del suelo de la región.

3

Descripción del acuífero y su explotación

La compleja geología de la Cuenca de México ha proporcionado a lo largo de la historia abundantes recursos de agua a sus habitantes a pesar de la escasez de agua superficial. En este capítulo se describen brevemente las características físicas y la hidrogeología de la cuenca, especialmente de la porción sur, donde la presencia humana ha sido un factor importante desde los tiempos de la capital azteca de Tenochtitlán. La historia de la explotación del acuífero de la Ciudad de México y los problemas de hundimiento asociados a él se examinan brevemente, asimismo se examina la disponibilidad de agua en el acuífero.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HIDROGEOLÓGICAS

La Cuenca del Valle de México se localiza en la parte central del Cinturón Volcánico Transmexicano y tiene un área aproximada de 9000 kilómetros cuadrados. El valle, situado a una altitud cercana a los 2,400 metros sobre el nivel del mar, es el más alto de la región y se encuentra rodeado por montañas que alcanzan elevaciones superiores a los 5000 metros. La temperatura promedio anual es de 15 grados centígrados (alrededor de 60 grados Fahrenheit). La mayor parte de los 700 milímetros de agua de lluvia que caen anualmente en la región se concentra en unas cuantas tormentas intensas, las cuales se presentan por lo regular de junio a septiembre; durante el resto del año las precipitaciones pluviales suelen ser escasas o nulas.

Esta cuenca es una depresión cerrada de manera natural, que a fines del siglo XVIII fue modificada artificialmente para controlar las inundaciones en

la ciudad. Las fuentes de recarga del agua subterránea en la cuenca se derivan, en gran medida, de las precipitaciones infiltradas y de la nieve derretida en las montañas y cerros que la rodean; este flujo se desplaza en forma de una corriente subterránea hacia las zonas menos elevadas. En su estado natural, la cuenca tenía una serie de lagos, desde los de agua dulce en el extremo superior, hasta los salados del extremo más bajo, en los que se concentraba la sal debido a la evaporación. La corriente de agua subterránea originaba numerosos manantiales al pie de las montañas, así como pozos en el valle (figura 3-1).

Geológicamente, el área sur de la Sierra Guadalupe es la porción mejor investigada de la Cuenca de México. A esta área, que abarca la Ciudad de México, suele denominársele Valle de México, o porción sur de la cuenca, ya que está parcialmente dividida por varias montañas de menor elevación. De igual manera, al sistema acuífero con frecuencia se le llama Acuífero de la Ciudad de México. Los detalles de la geología subsuperficial de esta área, mostrados de manera esquemática en la figura 3-2, han sido descritos por Mooser (1990) y por Mooser y Molina (1983). La información se basa en datos tomados de una serie formada por cuatro pozos profundos de exploración y perfiles realizados por sísmica de reflexión, llevados a cabo por Petróleos Mexicanos (Pemex), la compañía de petróleo propiedad del gobierno, tras el terremoto del 19 de septiembre de 1985.

Los depósitos de arcillas lacustres superficiales (por ejemplo, la capa de arcilla existente tanto en el fondo del lago antiguo como en el del actual) cubren el 23 por ciento de las elevaciones menos pronunciadas del Valle de México. Los depósitos aparecen en formaciones divididas, por lo que se conocen como “capa dura”. Compuesta principalmente de sedimentos y arena, la capa dura se localiza entre los 10 y los 40 metros de profundidad y sólo tiene unos cuantos metros de espesor. A las capas de arcillas lacustres superficiales que alcanzan una profundidad de 100 metros se les denomina acuitardo, y son considerablemente menos permeables que la capa dura o los sedimentos aluviales subyacentes. En el siglo XIX, al explotarse el agua del subsuelo por primera vez, la capa dura dio origen a los primeros pozos artesianos.

El relleno aluvial se encuentra por debajo de las arcillas lacustres y tiene un espesor de 100 a 500 metros. Este material está interestratificado con depósitos de basalto, tanto del Pleistoceno como recientes; juntos, abarcan la porción superior del acuífero principal en explotación (unidades 2, 3 y 4 de la figura 3-2). Otra unidad inferior del acuífero, compuesta por depósitos volcánicos estratificados que tienen de 100 a 600 metros de espesor, alcanza una profundidad que va de los 500 hasta los 1000 metros, aproximadamente (unidad 6 de la figura 3-2). Esta unidad más profunda está limitada por un depósito de arcillas lacustres del Plioceno.

Tres principales zonas hidrológicas han sido definidas para el Valle de México: la zona lacustre, arriba descrita, el piedemonte o zona de transición y la zona montañosa. La distribución de estas tres zonas puede inferirse al anal

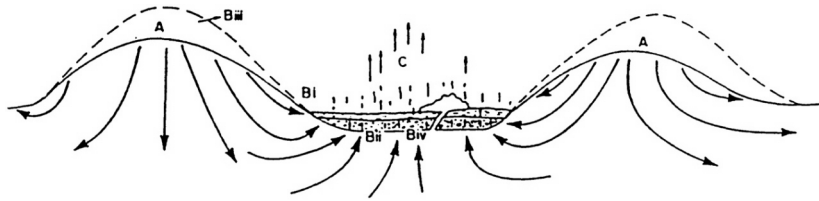


Figura 3-1 Interpretación del sistema de flujo del agua subterránea en la Cuenca de México. La infiltración de las precipitaciones y el deshielo de la nieve de las montañas que lo rodean forman un nivel freático profundo (A) con gradientes negativos, algunos de los cuales existen en niveles freáticos someros (Bi) en la base de colinas o regiones piedemonte; la mayor parte fluye por debajo del valle y hacia arriba, a través de las arcillas como descarga difusa (Bii) y como manantiales termales (Biv) a través de las fracturas del acuífero profundo. Todas las pérdidas de agua de la cuenca cerrada ocurren por evaporotranspiración (C). Fuente: Durazo y Farvolden, 1989.

izar el mapa de elevaciones de la [figura 3-3](#). La zona lacustre corresponde a las elevaciones de menor altura. La región piedemonte se encuentra por lo general entre el lecho de los antiguos lagos y las montañas de mayor pendiente. Aquí, las capas de arcilla lacustre se intercalan con las de sedimento y arena; en las áreas más cercanas a la base de las montañas, el piedemonte está compuesto en gran medida por basalto fracturado de flujos volcánicos. La formación de basalto es altamente permeable, con una buena capacidad de almacenamiento, y es considerada como el componente principal del acuífero en explotación; se encuentra expuesta cerca de la porción superior del piedemonte y se extiende por debajo de los depósitos aluviales del valle. El piedemonte, conocido también como zona de transición, es importante para la recarga natural del acuífero.

Las montañas que circundan la Cuenca de México son de origen volcánico. La Sierra Nevada se encuentra hacia el este, mientras que la Sierra de las Cruces se localiza hacia el oeste. La Sierra Chichinautzin, en el sur, forma la cadena más reciente. Su erupción ocurrió hace aproximadamente 600,000 años, bloqueando lo que antes fue un drenaje hacia el sur y cerrando definitivamente la cuenca. La Sierra Chichinautzin es la zona de recarga natural del acuífero de la ZMVM, debido a la alta permeabilidad de su roca de basalto. Los grandes manantiales de Xochimilco son un punto de descarga del flujo subterráneo; aquí se localizan algunos de los pozos más productivos del área. Debido a que toda la cuenca se encuentra rodeada por montañas, probablemente existan otras zonas de recarga del acuífero.

El modelo conceptual de la porción sur de la cuenca ha permitido identificar dos unidades permeables más profundas: un acuífero intermedio y otro profundo. Ambos están pobremente caracterizados, pero se les considera inde

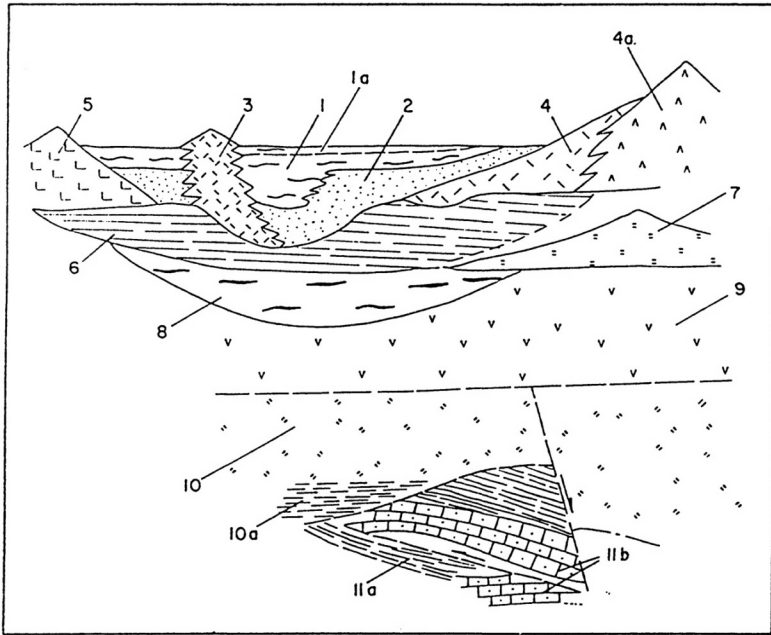


Figura 3-2 Estratigrafía esquemática de la porción sur de la Cuenca de México. Los números en la figura se refieren a las siguientes unidades: (1) depósitos de arcilla lacustre; (1a) capa dura (representada con línea punteada); (2) relleno aluvial; (3) basalto del Pleistoceno y más reciente, incluyendo la Sierra Chichinautzin; (4) formación Tarango; (4a) zona montañosa elevada; (5) colinas volcánicas y depósitos; (6) depósitos volcánicos estratificados; (7) formación montañosa del Plioceno; (8) depósitos lacustres más profundos del Plioceno; (9) depósitos volcánicos del Mioceno; (10) y (10a) depósitos volcánicos del Oligoceno; (11a) y (11b) base de calizas del Cretácico. La porción superior del acuífero principal está compuesta por las unidades (2), (3) y (4). La parte inferior del acuífero principal está integrada por la unidad (6). Las unidades (9), (10) y (11), que tampoco poseen caracterización, son consideradas acuíferos más profundos, diferentes del acuífero principal en explotación. Adaptado de Mooser, 1990.

pendientes del acuífero principal. El acuífero intermedio se compone de depósitos volcánicos del Mioceno (unidades 9, 10 y 10a de la [figura 3-2](#)). La formación subyacente de calizas del Cretácico (unidades 11a y 11b de la [figura 3-2](#)) puede también ser un acuífero. En los lugares donde la formación de calizas se encuentra expuesta ^{3/4} la parte exterior de la porción sur de la cuenca ^{3/4} es donde generalmente se efectúa la explotación de agua subterránea.

Históricamente, el principal acuífero abastecedor de agua estuvo sujeto a la presión artésiana, de manera que todos los pozos del fondo del valle llevaban el

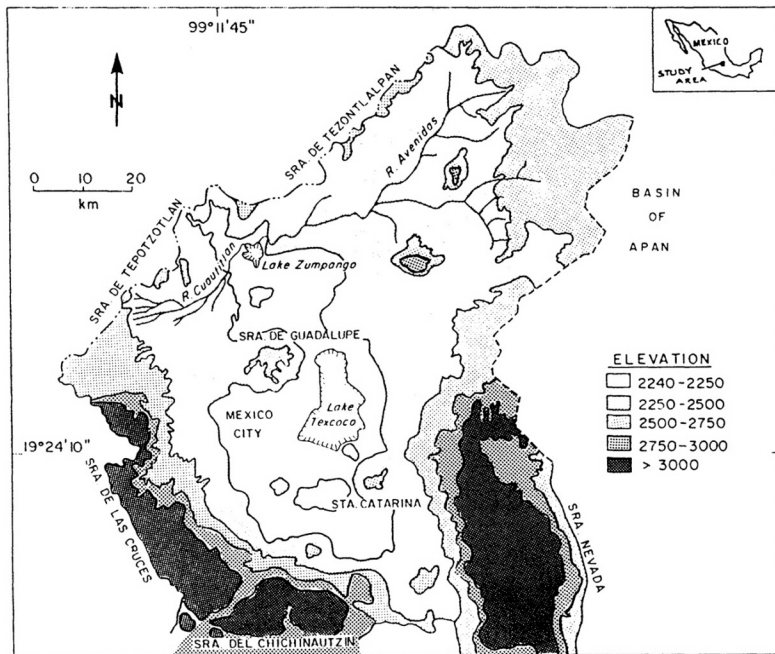


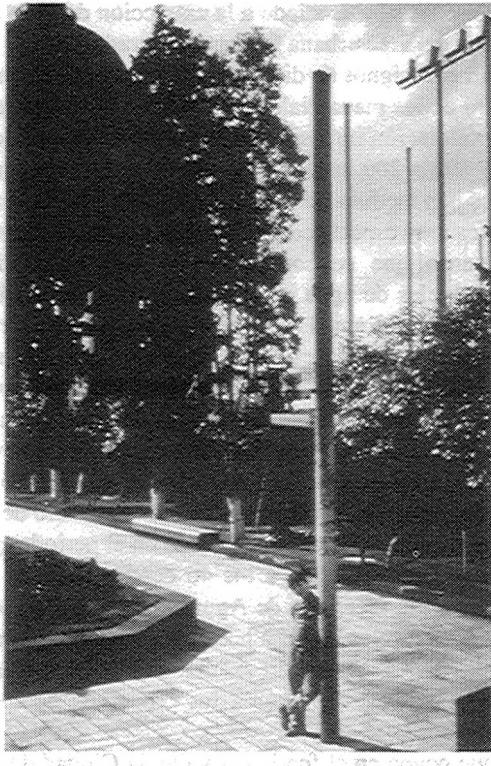
Figura 3-3 Zonas de elevación en la Cuenca de México. La zona lacustre ocupa las elevaciones menores de la cuenca (tono claro). La región de piedemonte, o zona de transición (tono sombreado), se encuentra en las pendientes altas y bajas. El tipo de elevación más alta corresponde a la zona montañosa.

agua a la superficie sin necesidad de bombeo. Los gradientes hidráulicos naturales provocaban que el agua ascendiera sobre los acuitardos arcillosos, tal y como se muestra en la [figura 3-1](#). La proliferación de pozos en los últimos cien años ha cambiado las condiciones hidrológicas naturales. Ahora, los gradientes y el flujo en las capas superiores de los depósitos se encuentran, generalmente revertidos, hacia las zonas de mayor extracción.

DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA EN EL ACUÍFERO Y HUNDIMIENTO DEL TERRENO

En sus orígenes, en el siglo XIV, la ciudad azteca de Tenochtitlan utilizaba un elaborado sistema de acueductos para llevar agua de manantial desde la parte más alta de la porción sur de la Cuenca de México hasta la ciudad situada

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.



Fotografía 3-1 Como ejemplo de la magnitud de hundimiento, se muestra una tubería de un pozo elevándose alrededor de 7 metros sobre el nivel del piso, en un barrio de la Ciudad de México. Los niños del vecindario señalan su altura en el tubo para ver si ellos crecen más rápido que lo que el suelo se hunda. Cortesía de Robert Farvolden.

en tierra y ganada al lago salino de Texcoco. Tras vencer a los aztecas en 1521, los españoles reconstruyeron estos acueductos y continuaron utilizando agua de manantial hasta mediados del siglo XIX. El descubrimiento en 1846 de agua potable subterránea proveniente de los pozos artesianos, provocó un furor por la perforación de pozos (Orozco y Berra, 1864). Hacia estos años, la extracción creciente de agua de pozo, combinada con los métodos artificiales de drenado del valle, provocó que muchos manantiales naturales se secaran, que los lagos menguaran y que el agua del subsuelo perdiera presión, con la subsecuente consolidación de las formaciones de arcilla lacustre sobre las que se asienta la ciudad. El consecuente hundimiento del terreno ha constituido un serio problema para la ZMVM desde principios del siglo XX. En 1953 ya se había demostrado

que dicho hundimiento estaba asociado a la extracción de agua subterránea, por lo que muchos pozos del área urbana fueron clausurados.

Uno de los primeros signos de disminución en el nivel del agua subterránea fue el desecamiento de los manantiales naturales en los años treinta, hecho que coincidió con la explotación intensiva del acuífero principal por medio de pozos profundos (de 100 a 200 metros de profundidad). Aunque los niveles de agua subterránea se han medido durante décadas, estas mediciones fueron realizadas para proyectos muy específicos y, por lo tanto, no resultaron un indicador acertado del descenso que se comenta. En 1983 comenzó el muestreo sistemático de los niveles de agua en el acuífero (Lesser-Illades et al., 1990). Desde entonces, el promedio anual de descenso del agua subterránea va de 0.1 a 1.5 metros por año en las diferentes zonas de la ZMVM. Los niveles del agua durante el periodo que va de 1986 a 1992 muestran un descenso neto de 6 a 10 metros en las zonas más intensamente bombeadas de esta región.

Cuando el acuífero somero fue bombeado en forma extensiva, hacia 1850 y los últimos años del mismo siglo, el hundimiento del terreno ya tenía lugar. Cerca de 1895, el hundimiento había alcanzado un promedio de cinco centímetros por año. Con el creciente bombeo efectuado en el periodo que va de 1948 a 1953, el hundimiento había llegado a los 46 centímetros por año en algunas áreas. De acuerdo con la Gerencia de Aguas del Valle de México, el hundimiento neto en los últimos cien años ha hecho descender el nivel del suelo de la ZMVM un promedio de 7.5 metros. El resultado ha sido un daño extensivo a la infraestructura de la ciudad, que abarca los cimientos de los edificios y el sistema de alcantarillado.

Por el lugar que ocupa en el fondo del valle, la Ciudad de México siempre ha estado sujeta a las inundaciones. Como se ha visto, uno de los problemas más serios causados por el hundimiento es el descenso del nivel de la Zona Metropolitana respecto al lago de Texcoco—el punto bajo natural de la porción sur de la cuenca. En 1900, el fondo del lago era 3 metros más profundo que el nivel medio del centro de la ciudad. Alrededor de 1974, el fondo del lago ya se encontraba dos metros más arriba. Estos cambios han agravado el problema de las inundaciones y han orientado la evolución del complejo sistema de drenaje creado para controlarlas (figura 3–4). A principios del siglo XIX, el drenaje de la ciudad era conducido mediante gravedad por el llamado Gran Canal del Desagüe, para finalmente desembocar por el túnel de Tequisquiac, al extremo norte del valle. Hacia 1950, el hundimiento de la ciudad era ya tan serio que hubieron de construirse diques para confinar la corriente de agua pluvial; asimismo, fue necesario bombear para elevar el agua del drenaje subterráneo al nivel del Canal del Desagüe. El aumento relativo del nivel del lago continuó amenazando a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México con inundaciones, lo que llevó a la necesidad de trabajar en el sistema de drenaje profundo y en las excavaciones para hacer más hondo el lago de Texcoco.

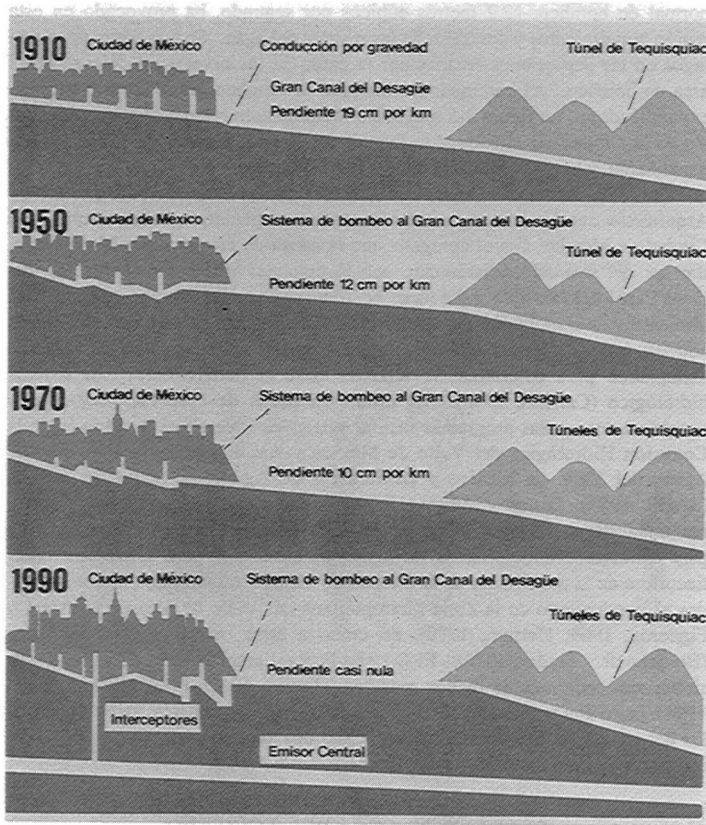


FIGURA 3-4 Hundimiento de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En esta figura se muestra el hundimiento progresivo de la ciudad en relación al Gran Canal del Desagüe. El sistema original, que funcionaba por gravedad, fue desactivado debido al fenómeno de hundimiento; alrededor de 1950 se hizo necesario instalar sistemas de bombeo para drenar el agua pluvial fuera de la ciudad. El hundimiento siguió causando problemas de inundación. En 1960, se construyó un sistema de interceptores de drenaje y recolectores profundos (Emisor Central), junto con una nueva salida artificial para la Cuenca de México. Fuente: Departamento del Distrito Federal, 1990a.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

En 1953, debido al severo hundimiento del centro de la ciudad, se clausuraron muchos pozos, al tiempo que se inició la construcción de otros nuevos en las regiones meridionales de Chalco, Tláhuac y Xochimilco. La velocidad normal de bombeo, 12.2 metros cúbicos por segundo, ha provocado en esta región hundimientos y descenso de los niveles del agua. Se han formado varios lagos en las depresiones creadas por la caída de los niveles del terreno en el área de bombeo. Al continuar los trabajos de bombeo, estos lagos continúan expandiéndose. La [figura 3–5](#) muestra el hundimiento relativo del área del centro de la Ciudad de México y la llanura de Chalco, a partir de 1935, aproximadamente, y hasta la fecha (Ortega et al., 1993).

En 1925, Roberto Galo reportó a la Sociedad Mexicana de Ingenieros y Arquitectos que las investigaciones mostraban el paulatino hundimiento de la Ciudad de México; Gayol agregaba que la causa de esto era, posiblemente, el drenaje del subsuelo, relacionado con la entonces reciente construcción del Gran Canal del Desagüe y del túnel de Tequizquiac. La relación entre el hundimiento y la explotación del acuífero ha sido examinada muy de cerca desde aquella época. Nabor Carrillo fue el primero en desarrollar un modelo matemático para determinar la relación entre el hundimiento y el sistema hidrológico (Carrillo, 1948). Se instalaron pozos de observación y se empezaron a desarrollar programas institucionales de investigación a través de la Comisión Hidrológica del Valle de México y sus sucesores, la Comisión de Aguas del Valle de México y la Gerencia de Aguas del Valle de México (SAHR, 1953). Hiriart y Marsal (1969) realizaron una de las primeras revisiones exhaustivas del hundimiento. Se desarrollaron modelos más avanzados para sistemas semiconfinados de agua subterránea y para el sistema multiacuífero de la porción sur de la Cuenca de México, mismos que fueron aplicados al hundimiento de la Zona Metropolitana del Valle de México (Herrera y Figueroa, 1969; Herrera, 1970), así como a otras investigaciones similares (Bredenhoef y Pinder, 1970). El Distrito Federal emplea en la actualidad versiones más recientes de dichos modelos (Herrera et al., 1989; Herrera et al., 1994), junto con una red de 320 pozos de observación para determinar los niveles del agua y la dirección del flujo. Cada dos años se realizan más de 1,400 inspecciones para medir las variaciones del hundimiento.

BALANCE DE AGUA DEL ACUÍFERO

Es común recurrir a un balance de agua para determinar el volumen de agua disponible para ser utilizada; asimismo, cuando se considera necesario, se intenta hacer un balance de agua subterránea. En general, este balance representa un cálculo más o menos exacto, debido a que la entrada principal de agua a un depósito de agua superficial^{3/4}la precipitación pluvial^{3/4} puede medirse.

Las estimaciones del comportamiento de un sistema de agua subterránea se hacen menos precisas debido a que todos los datos que intervienen en los cálculos

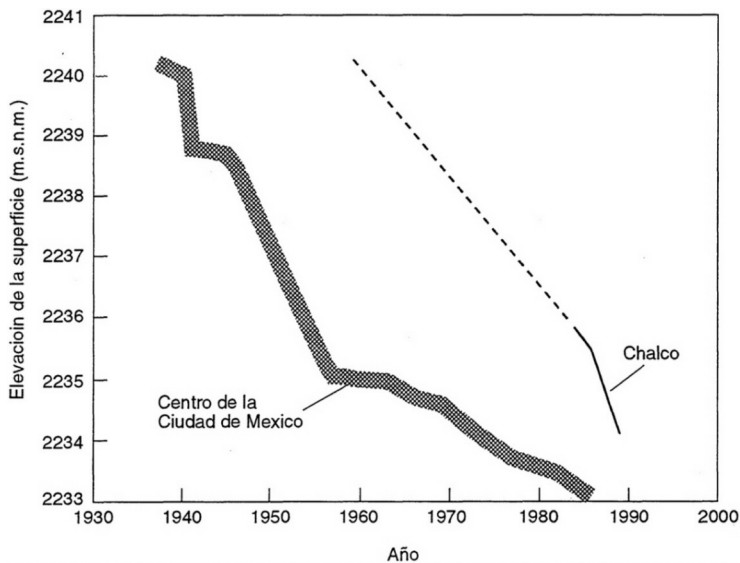


FIGURA 3-5 Medidas del hundimiento en el área del centro de la Ciudad de México y la llanura de Chalco, donde se ha llevado a cabo una extracción masiva de agua subterránea. La línea gruesa muestra el alcance de las mediciones en el área central de la ciudad. La línea punteada indica el hundimiento estimado en la llanura de Chalco antes de 1984. Fuente: Adaptado de Ortega et al., 1993.

los (propiedades de los medios, geología del subsuelo y definición de los sistemas de flujo) poseen un margen de error inherente que los hace inciertos. Finalmente, casi todos los sistemas de agua subterránea responden a las presiones con mucha mayor lentitud que los sistemas de agua superficial, de modo que los balances de agua no se emplean muy a menudo, excepto para consideraciones a largo plazo. Otra complicación consiste en que el balance de agua para el acuífero puede ser del todo distinto al correspondiente al sistema de agua subterránea en su conjunto; gran parte del agua que ingresa al agua subterránea puede no llegar al acuífero principal en cuestión.

Por mucho, la mejor manera para determinar el balance del agua de un acuífero, es utilizar registros para el largo plazo de bombeo y de niveles de agua subterránea. Los descensos en los niveles de agua demuestran que el volumen de agua que está saliendo del sistema es mayor que el que ingresa, lo que indica

un estado de sobreexplotación. Los acuíferos menos explotados permanecen en un estado de *quasi-equilibrium*. En tales casos, pueden esperarse fluctuaciones cíclicas o estacionales, pero a falta de grandes variaciones climáticas los niveles de agua a largo plazo permanecen estables en condiciones naturales.

Mediciones de campo han probado que el nivel freático de la porción superior del acuífero principal que abastece a la Ciudad de México ha descendido, aproximadamente, un metro por año (Herrera et al., 1994); según estos cálculos la sobreexplotación del acuífero está ocurriendo desde principios de este siglo, por lo menos. Cuánto tiempo podría durar esta clase de explotación es una pregunta que ha sido puesta a debate.

Los mejores cálculos acerca de la cantidad de agua subterránea almacenada provienen de investigaciones realizadas en la porción sur de la Cuenca de México (generalmente en la Sierra de Guadalupe), donde se han efectuado numerosos estudios geológicos. Al estimar el volumen de agua subterránea almacenada, es importante considerar las contribuciones de la capa de arcilla superior, así como el hecho de que esta capa (el acuitardo) no actúa como una capa confinante en un 30 por ciento de su extensión, ahí donde los niveles del agua han descendido por abajo del límite de esta capa. Sobre la base de las mediciones de campo y los modelos de esta región, el total del volumen saturado del acuífero en la parte sur de la cuenca ha sido estimado en 1,189.3 billones de metros cúbicos. La explotación anual en esta región se estima de 27.9 mcs¹. Esta cifra de extracción equivale a una pérdida de agua subterránea que oscila entre 3.45 y 5.59 billones de metros cúbicos anuales. La diferencia estriba en que los cálculos consideren, o no, que el agua que se queda en el acuitardo contribuye al volumen de agua del acuífero principal. A esta velocidad de extracción, el volumen calculado de almacenamiento es de 212 a 344 veces el volumen de explotación anual (véase Herrera et al., 1994, y AIC-ANIAC, 1994, para más detalles sobre este cálculo).

Aunque esta clase de balance de agua se usa comúnmente para calcular las variaciones en los volúmenes de agua subterránea, no representa una base confiable para desarrollar cifras de extracción a largo plazo. En la Zona Metropolitana del Valle de México, el hundimiento es el castigo a la sobreexplotación. El daño que esto representa para el sistema de drenaje y otras obras públicas ha sido señalado con anterioridad. Además, como se describirá de manera amplia en el [capítulo 4](#), el acuífero es vulnerable a la contaminación que acompaña la consolidación, desecación y fracturamiento de las capas de arcilla del acuitardo. Una aproximación simple a través de un balance de agua no aporta información adicional. El volumen real disponible en el acuífero principal sería de igual manera menor al estimado, debido a la probable disminución de la porosidad con respecto a la profundidad. También hay límites prácticos y económicos

¹ La tasa de extracción total de la Cuenca de México para el abastecimiento de ZMVM es estimada metros cubicos por segundo (vease [Capitulo 4](#)).

para el bombeo a profundidad. Por último, las pruebas realizadas a los pozos profundos explorados por Pemex a fines de los ochenta indican la probabilidad de que existan problemas de calidad en el agua geológicamente inducida, debido a la profundidad, cada vez mayor, de los acuíferos.

Para obtener información más precisa acerca de la sustentabilidad de la extracción continua en el acuífero, se requerirían estudios específicos que incluyan observaciones de campo y el uso de modelos computacionales (véase AIC-ANIAC, 1995, para detalles adicionales sobre el balance del agua, la hidrogeología y la explotación del acuífero).

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

4

Abastecimiento, Distribución y Aguas de Desecho

La administración de los recursos hidráulicos subterráneos de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es un problema vasto y complejo; integrar los conocimientos adquiridos con el tiempo acerca de estos recursos a la información institucional no es tarea fácil para ninguna ciudad de gran magnitud. En este capítulo se presenta una serie de datos sobre variados asuntos relativos al tema: los volúmenes de agua derivados de fuentes diversas, el tratamiento y distribución del agua, el tratamiento de aguas residuales, los sistemas de drenaje y el reciclaje de agua. De algún modo, este esfuerzo representa un logro singular: el de ofrecer, reunida por primera vez, una información tan variada sobre los recursos hídricos de la ZMVM.

Las distintas dependencias para la administración de agua del Distrito Federal y el Estado de México se han encargado, por lo general, de conservar los datos obtenidos para la operación, mantenimiento y planeación de sus respectivas áreas de servicio. Esta información no siempre se encuentra en los documentos que estas instancias generan y que se ponen a disposición del público. Con el propósito de mostrar un panorama global del sistema de abastecimiento de agua para toda el área metropolitana, el Comité responsable de este reporte ha solicitado y recibido de las autoridades cooperación e información de primer nivel sobre el tema.

Los datos cuantitativos que aquí se exponen relativos al abastecimiento, distribución y aguas residuales pueden parecer, en algunos aspectos, incompletos o imprecisos; sin embargo, muestran el cuadro actual de la administración de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México; sin duda, la presentación de este cuadro puede mejorar en el futuro con otras aportaciones y

con el abierto intercambio de información. Los recientes ajustes institucionales que se han llevado a cabo en México exigen hoy una aproximación cada vez más integral al problema de la administración de los recursos hídricos de la cuenca, y en el [capítulo 7](#), se presentan algunas sugerencias relacionadas con este tema.

ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

Características de las Areas de Servicio

La administración de los servicios de agua y de desagüe en la ZMVM corresponde, en forma dividida, al Distrito Federal y al Estado de México; dentro de sus respectivos límites jurisdiccionales, cada entidad es responsable del abastecimiento de agua potable, así como de recolectar y disponer de las aguas residuales. Por su parte, la Comisión Nacional del Agua tiene la responsabilidad de llevar el agua en bloque a las áreas de servicio, operar la mayoría de los pozos profundos de abastecimiento y organizar aquellos aspectos relativos a los trabajos hidráulicos que tengan por objeto conducir el agua desde las cuencas vecinas. La [tabla 4.1](#) muestra algunos de los usos característicos del agua en la ZMVM.

El Distrito Federal tiene una extensión cercana a los 1,504 kilómetros cuadrados. Mientras que el distrito entero se considera parte de la ZMVM, un área menor—aproximadamente 667 kilómetros cuadrados—recibe servicio del sistema de distribución de agua y del sistema de recolección de aguas residuales. Aunque el Departamento del Distrito Federal (DDF) es responsable de abastecer de agua potable, recolectar las aguas residuales y disponer de ellas en toda su jurisdicción, la parte sur del DF está poblada de manera dispersa y el abastecimiento de agua para esta área no está integrado al sistema de distribución. Muchos de los habitantes de esta porción del DF dependen de camiones tanque que transportan el agua para luego repartirla (pipas de agua), o bien de la que puedan obtener de los pozos y manantiales locales. Una parte de esta zona no cuenta con sistema de drenaje. Las autoridades han tratado de restringir aquí la urbanización debido a las dificultades que existen para llevar los servicios básicos, pero también porque se trata de una zona natural de recarga del agua subterránea.

De acuerdo con la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento (CEAS) del Estado de México, la zona metropolitana se extiende al este, norte y oeste del Distrito Federal, en 17 municipios del Estado de México, con un área total de 2,269 kilómetros cuadrados. Al igual que en el DF, un área más pequeña—aproximadamente 620 kilómetros cuadrados—recibe el servicio de distribución de agua y de los sistemas de drenaje. Juntas, las dos áreas metropolitanas de servicio equivalen a 1,287 kilómetros.

TABLA 4.1 Características de la Zona Metropolitana del Valle de México y del servicio y consumo de agua en el Distrito Federal y en la zona conurbada del Estado de México.

	Distrito Federal	Estado de México
Área total de la ZMVM (kilómetros cuadrados)	1,504	2,269
Área servida por los sistemas de distribución de agua y drenaje (kilómetros cuadrados)	667	620
Población de la ZMVM (millones)	8.3	6.8
Consumo diario de agua per cápita (litros)	364	230
Consumo de agua por rubro (porcentaje)		
Doméstico	67	80
Industrial	17	17
Servicios urbanos y comerciales	16	3

Fuentes: Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993; INEGI, 1991a.

Según el censo de 1990, el 94 por ciento de los 15.1 millones de habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México reciben el servicio a través de redes de distribución conectadas directamente a las casas, o bien a una toma común de distribución en el vecindario (INEGI, 1991a). En el Distrito Federal hay un nivel de servicio de abastecimiento más alto (97 por ciento) que en el Estado de México (90.5 por ciento). El resto de los residentes tiene que obtener el agua de las pipas suministradas por el gobierno, o comprarla a camiones con tanques propiedad de empresas privadas que la venden a un precio relativamente alto. Los valores promedio de uso per cápita reportados para el Distrito Federal y el Estado de México son de 364 y 230 litros diarios, respectivamente. Las autoridades atribuyen el hecho de que el uso per cápita sea superior en el Distrito Federal a su mayor desarrollo y actividad industrial. Adicionalmente, en el Estado de México hay muchos pozos industriales privados cuya existencia no se refleja en los cálculos. El consumo per cápita no es excesivo cuando se compara con el de los Estados Unidos que varía de 250 a 1,120 litros por día, con un promedio diario de 660 litros.

Un aspecto importante del servicio de agua es el monto no registrado de pérdidas debidas a fugas en el sistema de distribución. En los Estados Unidos, se utiliza a menudo el 15 por ciento para estimar empíricamente estas pérdidas, a falta de datos precisos. Un análisis realizado por Boland (1983), basado en informes de 1981 recolectados por la American Water Works Association, indicaba que por cada 120 compañías de suministro de agua en los Estados Unidos,

las pérdidas fluctuaban entre 0.00 y 0.55, con un promedio simple (no ponderado) de 0.12. El estimado de 15 por ciento de pérdidas ha sido empleado por la Comisión Nacional del Agua en México, para fines de planeación; sin embargo, esta misma Comisión, acepta que las pérdidas de agua por filtraciones en la ZMVM fluctúan de manera muy amplia y que éstas podrían llegar a ser del 40 por ciento en algunas porciones del área de servicio. Las pérdidas por fugas en el sistema de distribución y las acciones para corregirlas se discuten en el [capítulo 6](#).

Fuentes de Agua

Actualmente, el uso de agua en la ZMVM es de aproximadamente 60 metros cúbicos por segundo (mcs) (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993). Aproximadamente 43 mcs, casi el 72 por ciento del agua utilizada, se obtiene de distintas baterías de pozos que se encuentran explotando el acuífero de la Cuenca de México ([Tabla 4.2](#)). En conjunto, el Distrito Federal y el Estado de México tienen 1,089 pozos registrados, a profundidades que van de 70 a 200 metros. Esta cifra no incluye los pozos de mayor profundidad, operados por la Comisión Nacional del Agua. Existe también un gran número de pozos no registrados, muchos de los cuales se encuentran en el Estado de México. Los pozos se localizan por lo general en cuatro campos diferentes, ubicados en el interior y en los alrededores de la ZMVM. Se les conoce como campos de pozos del Sur (Xochimilco), Metropolitano, Este (región de Texcoco) y Norte. Mazari y Mackay (1993) han reportado tasas de extracción ligeramente mayores (45 mcs). Fuentes de abastecimiento de agua relativamente menores, pero importantes a nivel local, se derivan de las aguas superficiales de la cuenca, en gran medida represas de pequeños ríos y manantiales superficiales. El agua traída de las cuencas del Cutzamala y el Lerma ([Figura 4-1](#)) contribuye con alrededor de un 26 por ciento al abastecimiento total. Las cantidades que aporta cada una de las fuentes de agua se muestran en la [Tabla 4.2](#) y se comentan al calce. Excepto en el caso del río Magdalena y la presa Madin, las mismas fuentes de agua en bloque dan servicio a las áreas metropolitanas del Distrito Federal y el Estado de México (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993).

El agua superficial de la Cuenca del Valle de México contribuye sólo con alrededor del 2 por ciento (1.4 mcs) al abastecimiento de agua de la ZMVM. El río Magdalena proporciona el agua para el Distrito Federal, mientras que la presa Madin, en el río Tlalnepantla, abastece al Estado de México. Cuando se encuentran disponibles, se emplean los pequeños arroyos y manantiales naturales, fuentes que también ingresan directamente al sistema de distribución.

Hacia la década de los años treinta, el continuo hundimiento del suelo, junto con la toma de conciencia de que las reservas de agua subterránea de la

TABLA 4.2 Origen y cantidad del agua en bloque proporcionada a las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México. Todos los valores están en metros cúbicos por segundo (mcs).

Fuentes de agua en bloque	Distrito Federal	Estado de México	Total
Cuenca del Valle de México			
Campos de pozos	22.7	20.3	43.0
Río Magdalena	0.2	-	0.2
Presa Madin	-	0.5	0.5
Manantiales y arroyos	0.5	0.2	0.7
Fuentes Importadas			
Río Cutzamala	7.6	3.0	0.6
Campos de pozos del Lerma	4.3	1.0	5.3
Abastecimiento total de agua	35.3	25.0	60.3

Fuentes: Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993.

Cuenca de México comenzaban a agotarse, urgieron a las autoridades a explorar fuentes de agua fuera de esta región. En 1941 se inició la construcción de un acueducto de 15 kilómetros, para trasladar agua desde los pozos de la cuenca del río Lerma, sobre la línea divisoria con la Sierra de las Cruces. En 1982 se dio comienzo al proyecto Cutzamala, para repartir agua superficial desde la cuenca del río del mismo nombre, a una distancia de 127 kilómetros y con una elevación neta de 1,200 metros. En la actualidad, el proyecto Lerma-Cutzamala es un sistema combinado para trasladar agua tanto del río Cutzamala como de la cuenca del río Lerma; este sistema contribuye con un 26 por ciento al total de agua proporcionada a la ZMVM. La relación de estas cuencas vecinas con la Cuenca de México se muestra en la [figura 4-1](#).

El sistema Lerma-Cutzamala acarrea 10.6 mcs de agua desde el río Cutzamala. Después de ser tratada cerca de los puntos de recolección, el agua del río Cutzamala es conducida a través de un acueducto. El agua subterránea importada de la cuenca del Lerma (4.3 mcs) es desinfectada con cloro e incorporada a este acueducto antes de integrarse al sistema de distribución de la ZMVM. Otro acueducto abastece al Estado de México con 1.0 mcs de agua subterránea, también obtenida de la cuenca del Lerma.

Como se muestra en la [Figura 4-1](#), el gobierno federal ha identificado otras fuentes de agua en las cuencas vecinas para su potencial contribución al abastecimiento de agua de la ZMVM. Según la Comisión Nacional del Agua, la cantidad de agua potencialmente disponible de estas cuencas suma 43.7 mcs, cifra que iguala el total de extracción del acuífero. El Comité desconoce los costos por acarreo de agua desde estas áreas. En la actualidad, el gobierno

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

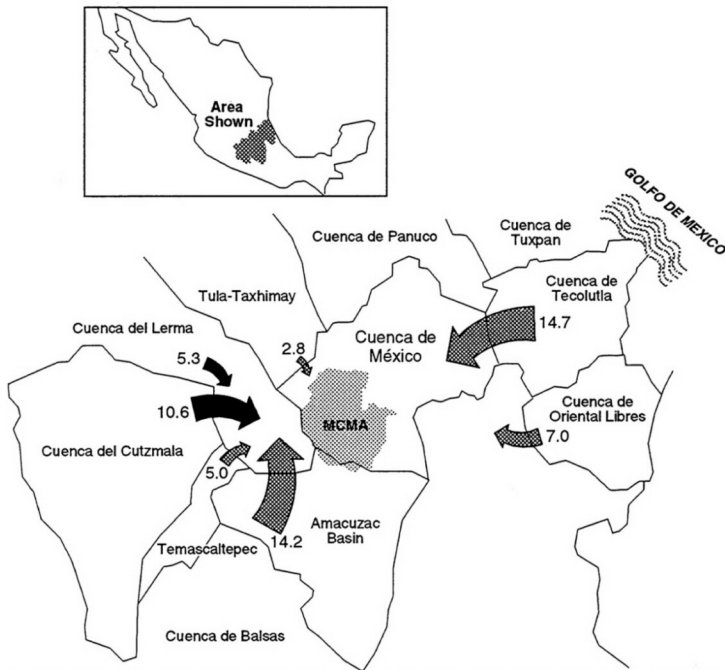


FIGURA 4.1 Abastecimiento existente y potencial de agua a la Zona Metropolitana del Valle de México desde cuencas vecinas. Todos los valores están en metros cúbicos por segundo (mcs). Las flechas sombreadas muestran que la ZMVM recibe normalmente 10.6 mcs de agua importada desde la cuenca del Cutzamala y 5.3 mcs de la cuenca del Lerma; estos flujos se mezclan en el sistema Lerma-Cutzamala. Las otras flechas y cifras señalan las nuevas fuentes potenciales de agua para la ZMVM, con base en estudios realizados por la Comisión Nacional del Agua.

planea traer 5 mcs de agua desde la cuenca del Temascaltepec; además, está considerando la posibilidad de acarrear 14.2 mcs desde la cuenca del Amacuzac.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

Tratamiento del Agua

Dos plantas para tratamiento de agua procesan las fuentes de agua superficial en la Cuenca de México antes de enviarla a la ZMVM. En el Distrito Federal opera la planta del Río Magdalena, la cual aplica un proceso a base alum coagulación/floculación, sedimentación por gravedad, filtración de arenas rápidas y desinfección con cloro. La Comisión Nacional del Agua opera una planta de aguas superficiales en la presa Madin, que abastece al área de servicio del Estado de México y emplea un proceso de tratamiento similar al de la planta Magdalena.

La Comisión Nacional del Agua se encarga de dar tratamiento al agua importada del río Cutzamala en la planta llamada Los Berros. Éste consiste en precloración, alum coagulación/floculación, sedimentación por gravedad y filtración de arenas rápidas. Por lo general, dicha planta trata 10.6 mcs de agua (como se muestra en la [Tabla 4-2](#)), es decir que de algún modo opera por encima de su capacidad (10 mcs). Los tratamientos se efectúan cerca de la fuente de extracción, antes de que el agua penetre al sistema Lerma-Cutzamala para ser transportada a la ZMVM.

El tratamiento de las fuentes de agua subterránea consiste en aplicarles el procedimiento de cloración para obtener un valor de cloro residual total de 2.0 miligramos/litro, antes de que ingresen al sistema de distribución. De manera adicional, existen 326 estaciones de recloración a lo largo del sistema de distribución, que tienen por objeto mantener el cloro residual a nivel conveniente. El Distrito Federal posee tres plantas de tratamiento, diseñadas originalmente para influir en los niveles de tratamiento avanzado del agua subterránea, incluyendo la extracción de gases disueltos, coloración, turbidez, hierro, reducción de la dureza, filtración y cloración. Estas antiguas plantas se encuentran en malas condiciones y de acuerdo con la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal (DGCOH), ahora sólo aplican la desinfección con cloro. Sin embargo, existen otras plantas piloto que realizan tratamientos avanzados de agua subterránea, en forma experimental.

El Sistema de Distribución de Agua

El área de servicio del Distrito Federal abarca casi 11,000 kilómetros de líneas de distribución y 243 tanques de almacenamiento, con una capacidad total de 1.5 millones de metros cúbicos. El agua proviene de todas las fuentes individuales que entran al sistema de distribución común. El Distrito Federal construye en la actualidad una línea de transmisión de agua (el Acueducto Periférico), destinada a transportar agua desde el sistema Cutzamala—que entra al sistema de distribución por el oeste—a las porciones sur y este del DF (Departamento del Distrito Federal, 1992b).

El sistema del Estado de México tiene aproximadamente 800 kilómetros de líneas de distribución y 32 tanques de almacenamiento, con una capacidad de 440,000 metros cúbicos. El Estado de México opera una línea de transmisión de agua de 49 kilómetros (el Macrocircuito) para transportar el agua que ingresa por la parte oeste del área de servicio (incluyendo el agua importada desde el sistema Lerma-Cutzamala) a la parte este de la zona (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993). En la actualidad se trabaja para elevar la capacidad de esta línea de transmisión, aumentar el volumen de agua proveniente del sistema Cutzamala-Lerma a 7.3 mcs y ofrecer servicio al área este del sistema.

Como ya se dijo y se mostró en la [Tabla 4.2](#), las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México comparten el agua de todas las fuentes, excepto la del río Magdalena (que surte sólo al Distrito Federal) y la de la presa Madin (que sólo surte al Estado de México). Las áreas de servicio de agua del Distrito Federal y del Estado de México dentro de la ZMVM están divididas en cinco distritos cada una; el agua entra al sistema de distribución por “puntos de ingreso” ubicados en uno o más sitios de cada distrito de servicio. La [Figura 4-2](#) muestra un mapa de los distritos de servicio de agua y los puntos de entrada asociados a cada uno en el Distrito Federal. No se contó con la información correspondiente para el área de servicio del Estado de México. La [Figura 4-3](#) intenta mostrar las cantidades de agua originarias de cada una de las fuentes de agua subterránea y superficial, tal como se reparten entre el Distrito Federal y el Estado de México. El agua subterránea es extraída de los distritos y entra directamente al sistema de distribución. También se recolectan otras cantidades de agua procedentes de las baterías de pozos ubicadas fuera de las áreas de servicio, así como de algunas fuentes de agua superficial en el interior de la cuenca y del Sistema Lerma-Cutzamala. El agua recolectada en un determinado distrito de servicio no necesariamente ingresa al sistema de distribución del mismo distrito. Por ejemplo, el agua extraída de los pozos del distrito de servicio sur, al parecer ingresa al sistema de distribución en los distritos de servicio este y central. En el contexto de este reporte, es suficiente señalar que el sistema de distribución es complejo y está interconectado en toda la ZMVM. La información que aquí se presenta no ha sido difundida en ninguna otra publicación; hasta donde se tiene información, este documento representa el primer intento de describir, de manera conjunta, el sistema de distribución de agua en las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México.

RECOLECCIÓN Y DESECHO DE AGUAS RESIDUALES

Un solo sistema de recolección o de drenaje funciona tanto para las áreas de servicio del Distrito Federal como para las del Estado de México en la ZMVM. Cada área de servicio tiene su propia red de drenaje; sin embargo,

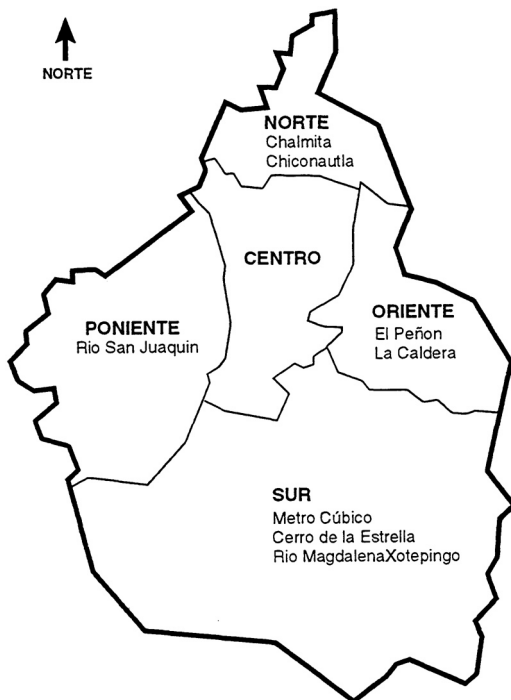


FIGURA 4–2 Distritos de servicio de agua en el Distrito Federal y nombres de sus puntos de ingreso al sistema de distribución.

todos los drenajes descargan eventualmente en los interceptores generales del sistema general de drenaje, el cual conduce las aguas residuales por cuatro salidas artificiales localizadas en el extremo norte de la cuenca. Los principales componentes del sistema de drenaje se muestran en la [Figura 4–4](#). En el Distrito Federal, la red del sistema abarca cerca de 10,000 kilómetros de largo, con 68 estaciones de bombeo, numerosos diques y lagunas para controlar el flujo, 111 kilómetros de canales abiertos, 42 kilómetros de ríos utilizados principalmente para drenaje y 118 kilómetros de túneles.

Según el censo de 1990 (INEGI, 1991a), el 82 por ciento de los 15 millones de habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México recibe los servicios del sistema de drenaje; el 6 por ciento, aproximadamente, utiliza fosas

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

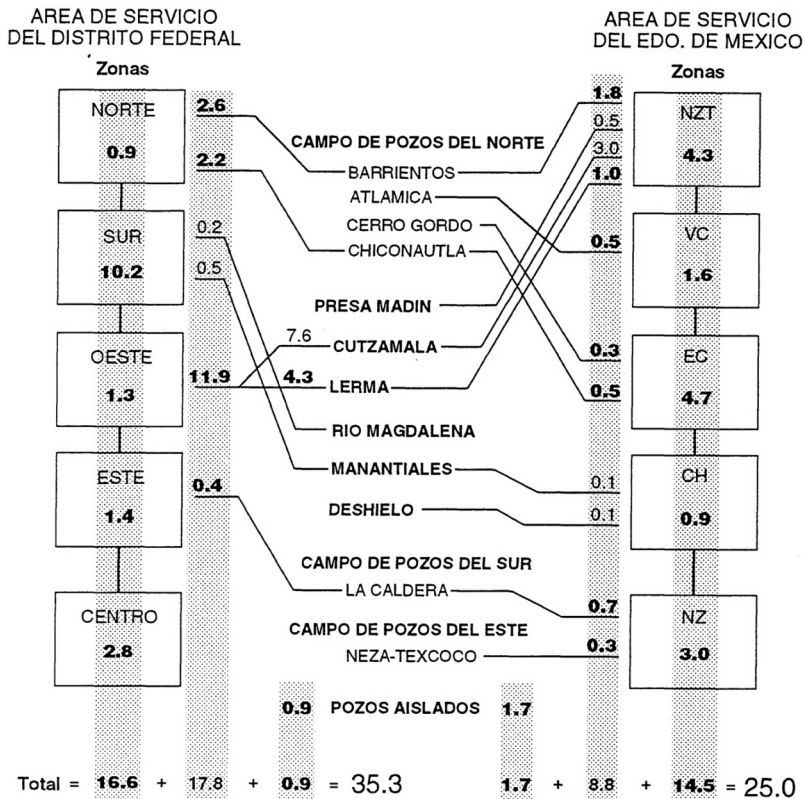


FIGURE 4.3 Localización esquemática de las fuentes de agua para las áreas de servicio del Distrito Federal y el Estado de México en la ZMVM. Los números en negritas señalan las cantidades originadas en las fuentes subterráneas de agua; los números normales indican las fuentes de agua superficial. Agua subterránea es extraída de cada distrito de servicio. Las líneas muestran cantidades de agua que ingresan al sistema de distribución de otras fuentes, que en su totalidad, se ubican aún en la porción sur de la Cuenca de México, con excepción del Cutzamala y Lerma. La suma de todos los valores aparece en la parte inferior de cada área de servicio.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

sépticas, y alrededor del 9 por ciento no posee ningún sistema de drenaje. Sin embargo, las diferencias en el interior de las áreas de servicio son notables, y en algunas delegaciones un sistema de drenaje sirve a menos de la mitad de los residentes. En el [capítulo 6](#) se proporciona información adicional sobre el sistema de drenaje.

Las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, así como el agua de lluvia, se recolectan en una red secundaria consistente en un pequeño sistema de tuberías por vecindario; después, son conducidas a través de la red principal al Sistema General de Drenaje, para ser expulsadas de la cuenca hacia el norte. El Estado de México reporta que el flujo total en tiempo de seca para la ZMVM (flujo que consiste principalmente en aguas residuales municipales sin tratar) se estima en 44.4 mcs (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993). En época de lluvias, la región recibe muchas tormentas de gran intensidad y corta duración. Una sola tormenta puede producir hasta 70 milímetros de lluvia (alrededor de 3 pulgadas), lo que representa un 10 por ciento del total de la precipitación anual. Debido al patrón de lluvias y a lo irregular del terreno, el sistema de drenaje general fue diseñado para acarrear 200 mcs en un período de 45 horas (Departamento del Distrito Federal, 1969).

Tratamiento de Aguas de Residuales

Por lo general, el 90 por ciento de las aguas residuales municipales de la ZMVM permanece sin tratamiento y se desvía al exterior de la Cuenca de México a través del sistema general de drenaje. Las aguas residuales sin tratar se utilizan para irrigar 80,000 hectáreas de sembradíos en el Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, hacia el norte. La corriente que regresa de la irrigación se drena hacia tributarios del río Panuco, el cual desemboca en el Golfo de México.

Aproximadamente el 10 por ciento de las aguas residuales tratadas en la ZMVM se reutiliza a nivel local en distintos proyectos, tales como la recarga de agua subterránea y la irrigación del paisaje urbano en la ciudad. Existen 13 plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal y 14 en el área de servicio del Estado de México, las cuales tratan un flujo total de 2.62 y 1.69 mcs, respectivamente (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993).

La [Tabla 4.3](#) explica el flujo combinado durante las temporadas de lluvia y de seca, así como las características de las aguas residuales al salir de la cuenca a través del Gran Canal (flujo en tiempo de seca), o el drenaje profundo (flujo en tiempo de lluvia). Los valores que se otorgan a los múltiples contaminantes representan la concentración promedio para 1992. El promedio de concentración de estos mismos contaminantes en una agua residual típica en los Estados Unidos, se proporciona para fines de comparación, referidos a las calidades



Fotografía 4-1 Vista del gran Canal del Desagüe, que transporte el agua pluvial y el drenaje proveniente del área metropolitana de la Ciudad de México. El Canal sale de la Cuenca de México a través del túnel de Tequisquiác y descarga en el Río Moctezuma a su vaz tributario del Río Pánuco que desemboca en el Golfo de México. Cortesía de Robert Farvolden.

del agua—ligera, media o fuerte (U.S. Environmental Protection Agency y U.S. Agency for International Development, 1992).

El nivel de muchos contaminantes en las aguas residuales y el flujo combinado durante las épocas de estiaje y de lluvia, es similar y a veces mayor que el de las aguas residuales típicas en Estados Unidos. La alta concentración de sólidos totales, sólidos totales disueltos y fósforo, así como de una menor cantidad de nitritos y nitratos, podría ser resultado de la descarga de aguas residuales provenientes de zonas industriales.

Las tablas 4.4 y 4.5 enlistan las plantas de tratamiento en operación para las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México, indicándose el valor de su capacidad de diseño y la capacidad a la que realmente están operando, el tipo de tratamiento que proporcionan y sus métodos de reuso (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993). El flujo total de las 13 plantas de tratamiento en el área de servicio del Distrito Federal (Tabla 4.4) equivale sólo al 55 por ciento de la

TABLA 4.3 Características del flujo de aguas residuales en el Gran Canal al salir de la Cuenca de México.

Contaminantes ^a	Flujo en tiempo de estiaje	Flujo en tiempo de lluvia	Rango de concentración ^b			Promedio en Estados Unidos ^b
			Ligero	Medio	Fuerte	
Sólidos totales	1800	1800	350	720	1200	—
Sólidos totales disueltos	1611	1445	250	500	850	—
Sólidos totales suspendidos	179	357	100	220	350	192
Sólidos asentados, mg/l	2.0	2.33	5	10	20	—
Nitrato, como N	0.30	.030	0	0	0	0.60
Nitrito, como N	0.06	0.06	0	0	0	—
Total fósforo, como P	30	30	4	8	15	6.80
DBO	240	187	110	220	400	181

^aTodos los valores en mg/l, excepto los señalados.

^bU.S. EPA y U.S. AID, 1992.

capacidad para la que han sido diseñadas—por ejemplo, 2.6 contra 4.6 mcs (Departamento del Distrito Federal, 1992b). El tratamiento secundario en todas estas plantas se proporciona mediante la aplicación del proceso de sedimentación de lodos activados.

Los tratamientos terciarios, cuando se aplican, consisten en los métodos de coagulación/floculación, sedimentación, filtración de arena y desinfección. En caso de aplicar la desinfección, se añade cloro para lograr un residuo total de 1 mcs, sea en la planta de tratamiento o en el punto de reutilización.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal están especialmente ubicadas para abastecer a determinadas zonas dentro del área de servicio. Por lo tanto, las características de las aguas residuales sin tratar pueden ser distintas en cada planta, dependiendo del origen del agua—por ejemplo, residual, doméstico o industrial.

El funcionamiento de las plantas de El Rosario, Acueducto de Guadalupe y Colegio Militar no ha sido eficiente. Se reporta que los principales problemas asociados con el agua residual en estas tres plantas son el alto contenido de grasa, aceites, fósforo, nitritos y nitratos, la escasa eliminación de la alcalinidad y la dureza, así como alta conductividad eléctrica. Se sabe que una elevada

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

TABLA 4.4 Plantas de tratamiento de aguas residuales en el área de servicio del Distrito Federal.

Planta	Capacidad original (mcs)	Flujo real (mcs)	Tipo de tratamiento	Práctica de reuso
Chapultepec	0.160	0.106	Secundario	RCI, IPU
Coyoacán	0.400	0.336	Secundario	RCI, IPU
Ciudad Deportiva	0.230	0.080	Secundario	IPU
San Juan de Aragón	0.500	0.364	Secundario	RCI, IPU
Tlatelolco	0.022	0.014	Secundario	IPU
Cerro de la Estrella	3.0	1.509	Secundario	RAI, IA
Bosque de las Lomas	0.055	0.027	Secundario	IPU
Acueducto de Guadalupe	0.08	0.057	Secundario	IPU
El Rosario	0.025	0.022	Terciario	RCI, IPU
S.L.	0.075	0.055	Terciario	RCI, RAI
Tlaxialtemalco				
Reclusorio Sur	0.030	0.013	Secundario	RCI, IPU
Iztacalco	0.013	0.010	Terciario	RCI, IPU
Colegio Militar	0.020	0.018	Secundario	RCI, IPU
Capacidad total	4.623	2.621		

RCI: Represas de recreo con contacto esporádico; RAI: Recarga de agua subterránea por inyección; IPU: Irrigación del paisaje urbano; IA: Irrigación Agrícola. Fuente: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993.

concentración de aceite y grasa causa problemas operativos en diversos procesos de tratamiento secundario y terciario. De las tres plantas mencionadas, únicamente el Rosario proporciona tratamiento terciario, pero un tratamiento terciario que sólo reduce la concentración de fósforo. La unidad de operación y los procesos empleados en esta planta no están lo suficientemente bien diseñados como para eliminar los nitritos y los nitratos. Se reporta que la calidad del afluente tratado en las 10 plantas restantes cumple con los requerimientos que demanda su propósito específico de reuso.

En el caso de las 14 plantas de tratamiento ubicadas dentro del área de servicio del Estado de México (Tabla 4.5), puede notarse que sólo 7 de ellas (el 50 por ciento) operan normalmente por abajo de su capacidad (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993). Debido a que algunas de las plantas de tratamiento son operadas por una industria, o bien por el municipio donde se localizan, no se encontró información disponible acerca de la operación, por parte del departamento de Aguas y Saneamiento del Estado de México, de la totalidad de las plantas.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

TABLA 4.5 Plantas de tratamiento de aguas residuales en el área de servicio del Estado de México.

Planta	Capacidad original (mcs)	Flujo real (mcs)	Tipo de tratamiento	Práctica de reuso
Pintores	0.005	0.005	Secundario	IPU
Naucalli	0.040	0.030	Secundario	IPU
S.J. Ixhuatepec	0.150	0.030	Secundario	RI
Nezahualcóyotl	0.200	NA	Secundario	IPU
U. de Chapingo	0.040	0.040	ND	IPU
Lago de Texcoco (dos plantas de tratamiento)	1.50	1.000	Secundario Terciario	IA, L
Termoeléctrica V. de México	0.450	0.250	Secundario	RI
P. San Cristóbal	0.400	0.250	Secundario	RI
Lechería	0.030	0.010	Secundario	RI
Ford	0.030	0.030	Secundario	RI
Club de Golf Chiluca	20	20	ND	IPU
Revillagigedo Chiluca	20	20	ND	RI
La Estadía Chiluca	20	20	ND	RI
Capacidad total	2.905	1.685		

IPU: Irrigación del paisaje urbano; IA: Irrigación agrícola; RI: Reutilización industrial; ND: No disponible; L: Expansión del lago. Fuente: Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993.

Los problemas relacionados con el manejo, tratamiento y eliminación de los residuos fecales sólidos que suelen generarse en las plantas de tratamiento de aguas residuales, constituyen un tema de la mayor importancia. Estos residuos pueden ser peligrosos si no se tratan o se desechan en forma adecuada. Sin embargo, ya que el tratamiento de aguas residuales en la ZMVM se lleva a cabo principalmente con el propósito de reuso más que de tratarlas para su eliminación, los residuos contenidos son aparentemente vertidos nuevamente al drenaje, sin ningún tratamiento.

REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE AGUA

Por reutilización del agua se entiende la práctica de recuperar aguas degradadas para emplearlas, luego de aplicarles un nivel de tratamiento adecuado, con fines prácticos. Por reciclaje del agua se entiende la captura y recuperación de aguas degradadas, para volver a usarlas en el mismo proceso que las generó; a menudo, el reciclaje puede llevarse a cabo sin un tratamiento excesivo del

agua—por ejemplo, mediante el empleo de un sistema industrial de enfriamiento de ciclo cerrado. Las aguas residuales municipales, que incluyen el agua generada en residencias, establecimientos comerciales, y a menudo en instalaciones industriales, son la fuente de agua de reuso de que se dispone más a menudo, luego de aplicárseles un grado satisfactorio de tratamiento. Otras fuentes de agua degradada han sido tomadas en cuenta para su reuso—por ejemplo, el agua de lluvia de desagüe y el flujo que regresa de la irrigación agrícola. Sin embargo, la calidad de estas otras fuentes es menos predecible que la del agua municipal tratada, por lo que la conveniencia o no de su reuso no es tan segura (National Research Council, 1994). La [tabla 4.6](#) (Metcalf y Eddy, 1991), identifica las posibles aplicaciones del reuso de las aguas municipales recuperadas, junto con los problemas de mayor importancia asociados a cada una de ellas (si se desea información adicional, véase U.S. Environmental Protection Agency y U.S. Agency for International Development, 1992).

Las actividades de reuso del agua en la ZMVM comenzaron de manera oficial en 1984, con el Programa Nacional de Uso Eficiente del Agua (Departamento del Distrito Federal, 1990b). Los proyectos para el reuso del agua formaron parte de un programa más amplio destinado a reducir la pérdida de agua y mejorar los ingresos económicos por este concepto. Durante el periodo 1990–1992, el programa se concentró en varias actividades para el reuso del agua en la ZMVM, que incluyeron la protección de las zonas naturales de recarga del acuífero, la recarga del acuífero con agua de lluvia y aguas residuales municipales recuperadas, así como el uso de aguas residuales recuperadas de los sectores industrial y de servicios.

Este programa nacional abarcó el establecimiento de nuevos reglamentos para la descarga de aguas residuales en el Distrito Federal; en 1990, se establecieron las disposiciones para un programa industrial de “pretratamiento”—un importante requisito previo para las actividades de recuperación y reuso. Sin embargo, existe poca información disponible relativa a la duración y el éxito de los programas de pretratamiento industrial en la ZMVM. En el área de servicio del Distrito Federal, los 2.62 mcs de aguas residuales tratadas y reusadas ([Tabla 4.3](#)) se distribuyen de la manera siguiente: 83 por ciento para la irrigación del paisaje urbano y depósitos en áreas recreativas; 10 por ciento para uso industrial; 5 por ciento para irrigación agrícola; 2 por ciento para usos comerciales, como, por ejemplo, el lavado de automóviles (Departamento del Distrito Federal, 1992b).

El Estado de México ha implementado un programa específicamente diseñado para aumentar el uso de aguas residuales municipales. Las finalidades del programa incluyen: el desarrollo de estudios de viabilidad para la construcción de sistemas de tratamiento adicional, así como de una red de distribución que reparta las aguas residuales recuperadas para su reuso; la promoción de proyectos de reuso del agua entre los sectores privado y público; la rehabilitación

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

TABLA 4.6 Aplicaciones para la reutilización de aguas residuales municipales recicladas y principales problemas relacionados con cada uso.

Aplicaciones para el reuso de aguas residuales	Problemas
<p>Irrigación Agrícola <i>Irrigación de cosechas; Viveros</i></p> <p>Irrigación del paisaje urbano <i>Parque; Patio de escuela; Valla de carretera; Campo de golf; Cementerio; Cinturón verde; Residencial</i></p>	<p>Contaminación del agua superficial y subterránea si no se maneja correctamente;</p> <p>Comercialización de las cosechas y aceptación del público.</p> <p>Efecto en la calidad del agua, particularmente en las sales, en la tierra y las cosechas.</p> <p>Problemas de salud pública relacionadas con agentes patógenos (bacterias, virus y parásitos)</p> <p>Control del área de uso que abarca la zona de influencia. Puede ser muy costoso para los usuarios.</p>
<p>Reciclaje y reutilización industrial <i>Enfriamiento; Alimentación de calentadores; Agua procesada; Construcción pesada</i></p>	<p>Componentes del agua residual recuperada relacionados con escamaduras, corrosión, crecimiento biológico y obstrucción.</p> <p>Problemas de salud pública, particularmente la transmisión atomizada de agentes patógenos al enfriar el agua.</p>
<p>Usos urbanos no potables <i>Protección contra incendios; Aire acondicionado; Agua para inodoros</i></p>	<p>Problemas de salud pública causados por elementos patógenos que se transmiten en forma atomizada.</p> <p>Efectos de la calidad del agua en descamación, corrosión, crecimiento biológico y obstrucción.</p> <p>Conexiones cruzadas en las tuberías.</p>
<p>Recarga de agua subterránea <i>Relleno de agua subterránea; Control de la intrusión de sal; Control del hundimiento</i></p>	<p>Productos químicos orgánicos en las aguas residuales recuperadas y sus efectos tóxicos. Sólidos, nitratos y agentes patógenos totales disueltos en las aguas residuales recuperadas.</p>
<p>Usos recreativos/ambientales <i>Represas, lagos y estanques; Agrandamiento de pantanos; Aumento del flujo de la corriente; Pesquerías; Fabricación de hielo</i></p>	<p>Problemas de salud debidos a bacterias y virus;</p> <p>Eutroficación debida a los N y P al recibir el agua;</p> <p>Toxicidad que afecta la vida acuática.</p>
<p>Reutilización como agua potable <i>Mezclada con agua del acuífero; Abastecimiento de agua de tubo a tubo</i></p>	<p>Componentes de las aguas residuales recuperadas, en especial restos de productos químicos y sus efectos tóxicos;</p> <p>Aspecto y aceptación del público;</p> <p>Problemas de salud relacionados con la transmisión por agentes patógenos, especialmente de virus.</p>

Fuente: Metcalf y Eddy, Inc. 1991.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

itación de las plantas existentes para tratamiento de aguas residuales; la preparación de manuales de operación y mantenimiento, así como de otros registros destinados a mejorar la administración de los sistemas de tratamiento y reuso; la preparación de un cálculo cuantitativo del agua potable utilizada en la actualidad para diferentes actividades, que es susceptible de sustituirse con aguas residuales recuperadas. Bajo este programa, las actividades de reuso potencial del agua—que incluyen la irrigación agrícola, el uso industrial, el paisaje urbano y la recarga de los acuíferos—han sido localizadas dentro de distritos específicos de servicio en el área del Estado de México. Para el año 2000, el Estado de México pretende tener cuatro plantas para el tratamiento de aguas residuales nuevas, con una capacidad total de 8.6 mcs (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993).

Las industrias del Distrito Federal reciclan o reusan 2.4 mcs de aguas residuales, principalmente para procesos de enfriamiento. Esta cantidad representa un aumento de 25 por ciento con respecto al nivel de reuso en 1990 y del doble en relación a 1988. Muchas industrias tienen el potencial para reciclar o reusar el agua. La industria privada ha mostrado ya interés en los beneficios del reuso. Por ejemplo, 26 empresas privadas del área de Vallejo, en la ZMVM, iniciaron en 1989 un programa de reuso, para lo cual establecieron una compañía promotora con fines comerciales *Aguas Industriales de Vallejo* (World Bank, 1992). Esta compañía rehabilitó una vieja planta municipal para tratamiento de aguas residuales; hoy, distribuye agua recuperada a sus compañías accionistas a un costo igual a tres cuartas partes del precio fijado por el gobierno para la tarifa de agua potable. Asimismo, se ha estimado que la industria reusa la mayor parte de las aguas residuales tratadas en el área de servicio del Estado de México. El mercado potencial para las aguas residuales recuperadas varía según el tipo de tratamientos empleados, pero puede verse influenciado por las políticas gubernamentales relativas a las tarifas para el agua y al otorgamiento de las licencias para el uso de aguas residuales. Este tipo de políticas se analizan más a fondo en los capítulos 6 y 7.

Una mayor recuperación de aguas residuales, así como un esquema de reuso más amplio, se desarrollan actualmente en el lago de Texcoco, junto con programas de control y disminución de tolvaneras. Históricamente, el lago de Texcoco cubría gran parte de las zonas más bajas situadas en la porción sur de la Cuenca de México. Entre una temporada de lluvia y la siguiente, el lecho poco profundo y salino del lago se secaba y producía serias tolvaneras (Marsal, 1974). Para responder a este problema, se estableció en 1971 el Plan Texcoco. La solución consistía en crear estanques permanentes más pequeños adentro del lecho grande e irregular, así como en rehabilitar las áreas problemáticas para una futura expansión urbana y agrícola, mediante el empleo de rompevientos y de métodos de reforestación, irrigación agrícola y mejoramiento del drenaje, entre otros. Es interesante observar que los lagos artificiales más perdurables se crearon utilizando las lecciones aprendidas del problema del hundimiento. Las

altas tasas de bombeo consolidaron las arcillas e hicieron descender hasta 4 metros el antiguo lecho del lago. El programa de reutilización del Plan Texcoco incluye la construcción de una laguna habilitada para el tratamiento de aguas residuales, así como la recuperación del agua de lluvia recolectada para la irrigación agrícola. De esta manera se reemplazará el agua potable que actualmente se utiliza para este propósito.

Las aguas residuales han sido añadidas a varios estanques de recreación en el Distrito Federal a través de varios proyectos de reutilización. Una parte de las aguas residuales tratadas por ocho de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Distrito Federal se utilizó para este propósito. Uno de los proyectos más significativos es el uso de aguas residuales municipales recuperadas para mejorar el ecosistema lacustre de los históricos canales de Xochimilco.

La recarga artificial de agua subterránea ha sido usada en la región desde 1943 como un método para reducir las inundaciones, y esto todavía se aplica en la actualidad. Los primeros proyectos abarcaban la retención del desbordamiento y la ampliación de la superficie, la modificación de los canales, y los pozos de infiltración. Muchos de estos proyectos se llevaron a cabo en el basalto altamente permeable de las zonas altas y lograron tasas de infiltración muy altas en los periodos de lluvias torrenciales. La recarga artificial usando pozos de inyección se desarrolló primero en el Distrito Federal alrededor de 1953. Se reportaron cifras de inyección de agua de 0.1 a 0.3 mcs; sin embargo, la fuente o la calidad del agua de recarga no se midió en esos primeros proyectos, y la mitad de los pozos fueron cerrados después debido a problemas operacionales. En 1970 se perforaron alrededor de 56 pozos con el propósito de infiltrar el agua de lluvia. Estos pozos tenían la capacidad de manejar en conjunto hasta 35 mcs de agua. Aunque los pozos no estaban diseñados para la recarga, el agua de lluvia llegó probablemente al acuífero. El Departamento del Distrito Federal está también desarrollando un sistema de represas en las laderas de la Magdalena Contreras, con el fin de recolectar el agua de lluvia y promover la infiltración natural.

El DDF construyó dos plantas piloto para el tratamiento de agua en 1983, para estudiar el potencial del tratamiento avanzado de aguas residuales del efluente secundario para su reuso como agua potable, y para examinar su potencial para tratar agua subterránea contaminada. Con base en los resultados de las plantas piloto, se construyó otra instalación con el mismo propósito, con la capacidad de 0.3 mcs, y diseñada tanto para tratar agua subterránea como para la reutilización potable directa. El objetivo del proyecto de reuso era mezclar el agua residual recuperada con agua subterránea tratada para añadirla directamente al sistema de distribución (Espino et al., 1987). Normalmente, el agua residual recuperada se usa para procesos que no requieren agua potable.

El Proyecto Texcoco está llevando a cabo estudios sobre el reuso como agua potable de manera indirecta del agua residual recuperada a través de la

recarga artificial del acuífero empleando tratamientos secundario y avanzado de aguas residuales municipales. El efluente final puede ser utilizado en represas de infiltración o pozos de inyección. En un programa separado llevado a cabo por el DDF, un estudio a nivel de planta piloto está inyectando agua que pasó del tratamiento avanzado directamente al acuífero a un ritmo de 0.05 mcs. Se utilizan pozos de monitoreo para detectar los cambios de la calidad del agua y de los niveles piezométricos.

Un reporte reciente del Consejo Nacional de Investigación (National Research Council, 1994) concluye que la recarga artificial con aguas residuales municipales recuperadas “ofrece particularmente un potencial significativo para usos no potables”, y puede “...reducir la demanda de agua pura limitada con un riesgo mínimo para la salud.” Si se considera la recarga artificial para usos potables indirectos, los riesgos para la salud pueden ser mayores y la aceptación del público es más incierta. De cualquier manera, pero especialmente en la que considera el reuso como agua potable, se requiere una planeación y un estudio minucioso previo al proyecto.

La recuperación de agua residual municipal para su posible reutilización directa (por ejemplo, “de tubería a tubería”) se ha investigado en los Estados Unidos y en el resto del mundo a través de instalaciones experimentales. Aunque estas instalaciones han probado la posibilidad de reuso potable directo, un equipo a escala normal sólo ha sido empleado en Windhoek, Namibia, donde el agua residual recuperada se utilizó directamente como suplemento de la fuente normal de abastecimiento de agua (Odendaal y Hatting, 1987).

Aunque la planta de recuperación de Windhoek demostró la viabilidad del reuso directo del agua residual como agua potable, el efecto a largo plazo de esta forma de reuso sigue en duda y por lo tanto representa una preocupación. Aún está por determinarse el efecto potencial que la exposición muy prolongada a los distintos químicos que se encuentran en las aguas residuales recuperadas puede tener en la salud. Otra gran preocupación es la posible presencia de restos orgánicos en el agua de desecho sin tratar, no detectados por las pruebas analíticas y que no puedan ser eliminados por las tecnologías actuales. Por estas razones (y tal vez por otras, como la falta de aceptación del público) la reutilización directa del agua residual como agua potable debe ser considerada con precaución y representar la opción menos deseable para resolver un problema de escasez de agua (véase AIC-ANIAC, 1995 para más detalles y ejemplos).

5

Calidad del Agua y Problemas de Salud

VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO

Debido a las impresionantes dimensiones y la gran densidad de población de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), así como al hecho de que casi tres cuartas partes del área dependen del acuífero para el abastecimiento de agua potable, la protección de la calidad del agua subterránea es de la mayor importancia. Los desechos originados por la actividad doméstica, industrial y comercial, contienen diversos gérmenes patógenos y contaminantes tóxicos que si no se manejan en forma adecuada pueden llegar a representar un peligro. La posibilidad de que esos contaminantes se filtren al agua subterránea depende de muchos factores, tales como la composición de los suelos (materiales geológicos), el nivel freático, la tasa de recarga y otros factores ambientales que influyen en la movilidad o la degradación de los contaminantes (National Research Council, 1993). En la ZMVM, estos elementos varían en cada una de las tres principales zonas hidrológicas: la zona lacustre, la zona de transición de la región piedemonte y la zona de montaña. Las características hidrológicas de estas tres áreas se describieron en el [capítulo 3](#).

La zona de transición merece especial atención, debido a que en ella se combinan la permeabilidad natural, la rapidez del crecimiento urbano y el incremento del número de pozos de abastecimiento. Los problemas de uso del suelo son múltiples: una gran proporción de asentamientos que carecen de recolección de aguas negras; canales de drenaje no revestidos que llevan aguas residuales sin tratar y aguas negras de origen doméstico; basureros mal

confinados, así como un mal manejo del almacenamiento y desecho de materiales peligrosos (Mazari y Mackay, 1993). La zona de montaña no está tan urbanizada como las zonas de menor elevación. Sin embargo, los asentamientos humanos irregulares dispersos en la ladera de las montañas aumentan la posibilidad de contaminación.

Hasta hace poco, se suponía que las arcillas lacustres que subyacen en gran parte del área urbana formaban una capa impermeable y protectora que evitaba la penetración subterránea de los contaminantes. Sin embargo, la desecación y la consolidación de las capas de arcilla han propiciado el desarrollo de fracturas que pueden actuar como conductos para la migración subterránea de contaminantes (Alberro y Hernández, 1990; Rudolph et al., 1991; Pitre, 1994). Desde la década de los cuarentas los gradientes de flujo se han abatido en las áreas más bombeadas, en contraste con las condiciones artesianas históricas (Carrillo, 1948). Los resultados de los modelos aplicados, así como los estudios de campo en sitios predeterminados, muestran que los contaminantes han migrado a mayor distancia en las arcillas—lo que se había predicho con base en una formación arcillosa homogénea—lo que apoya la hipótesis de que los contaminantes se mueven a través de las fracturas (Rudolph et al., 1991). Un estudio reciente en el valle de Chalco, región donde el bombeo ha sido exhaustivo (Ortega et al., 1993), detectó una consolidación significativa de las arcillas; los autores de este estudio concluyeron que el hundimiento continuará, con la consecuente liberación de sales y otros constituyentes químicos solubles del acuitardo, hacia el acuífero principal localizado más abajo. Mientras estos estudios han detectado una migración en profundidad de los contaminantes, con la posibilidad de que se contamine el agua del subsuelo, ningún estudio ha determinado si estos contaminantes han alcanzado al principal acuífero en explotación. Ortega y sus colaboradores concluyeron que se requiere una mejor comprensión de la respuesta del acuífero a diferentes situaciones de bombeo, para lograr la protección y el manejo del mismo a largo plazo.

La falta de tratamiento de aguas residuales, así como la práctica de utilizar canales no revestidos para el transporte de los desechos sin tratar—un problema que atañe sin duda a la salud pública—están muy generalizadas en México y en el resto de Latinoamérica (Organización Panamericana de la Salud, 1990b; Cech y Essman, 1992). Se calcula que la ZMVM genera aproximadamente 44 mcs de aguas residuales (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993); de acuerdo con el Distrito Federal, más del 90 por ciento de los desechos líquidos industriales se descarga en el sistema de drenaje (Lesser y Asociados, S.A., 1993). El sistema combinado de drenaje transporta aguas residuales y agua de lluvia a través de una red primaria de 1,212 kilómetros de largo y una red secundaria de 12,326 kilómetros de longitud. En algunos sitios, el nuevo sistema de drenaje profundo penetra por debajo del acuitardo e intercepta el acuífero principal. En la época de lluvias, las aguas residuales se filtran al subsuelo a través de los túneles profundos; esto puede crear problemas en

muchos de los sitios que se localizan dentro de la zona lacustre y donde la protección de la capa de arcilla ya es insuficiente. Los canales no revestidos representan un riesgo adicional de contaminación del agua subterránea, particularmente en las zonas de transición donde el suelo es altamente permeable (Mazari, 1992).

Existen varios pozos abandonados en el área, algunos de ellos abiertos muy cerca de la superficie, otros mal sellados. Muchos están cerca de canales de drenaje no revestidos que contienen aguas residuales domésticas e industriales. Estos pozos abandonados pueden representar una ruta alterna y más directa de contaminación hacia el acuífero.

La ZMVM, que alberga la zona industrial más importante del país, contiene alrededor del 45 por ciento de la producción industrial de la nación. Según el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, la cantidad de desechos peligrosos generados en el Distrito Federal es de alrededor de 3 millones de toneladas por año, de las cuales más del 95 por ciento son efluentes procesados o efluentes tratados que se arrojan al sistema municipal de drenaje. La parte restante, alrededor de 150,000 toneladas, son desechos sólidos que en su gran mayoría son enviados a los basureros municipales, o bien a basureros ilegales. Además de los desechos que siguen produciéndose en forma cotidiana, existen alrededor de 40 millones de toneladas de desechos peligrosos generados desde los años cuarenta, cuando la industrialización del área se incrementó en forma muy notoria. Mientras que en el Distrito Federal se ha elaborado una lista con el nombre y los tipos de industrias existentes, en los otros estados de la Cuenca de México—México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla—no se ha hecho (véase AIC-ANIAC, 1995 para más detalles).

Aunque se han llevado a cabo investigaciones sobre el tipo de contaminantes producidos en diferentes instalaciones, así como sobre la migración de éstos al subsuelo de la ZMVM, el grupo de estudio encargado de elaborar este reporte no ha encontrado ningún trabajo que examine las formaciones geológicas en el acuífero principal—examen que pudiera confirmar la contaminación del agua por fuentes industriales.

La producción y el manejo de desechos peligrosos están regulados por la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental publicada en 1988. Esta ley impone restricciones y controles a los productores de desechos peligrosos; asimismo, les exige registros y permisos que documenten los procesos industriales y establezcan prácticas de manejo. A pesar de las previsiones de la ley y los reglamentos, en la actualidad el manejo adecuado de desechos peligrosos en la ZMVM se ha visto seriamente comprometido a causa de la falta de facilidades para reciclar, tratar o retirar estos desechos. Dos compañías en el área metropolitana están autorizadas para reciclar cierto tipo de desechos. En la Cuenca de México no existen lugares específicos para desechos que tengan autorización para recibir materiales peligrosos.

Otra preocupación relacionada con la calidad del agua es el riesgo que conlleva la aplicación de pesticidas en tierras dedicadas a la agricultura. Aunque en México no existe información confiable acerca del grado de contaminación del agua causada por pesticidas, la Organización Panamericana de la Salud (1990a) ha identificado varias cuencas de ríos en las que el uso de pesticidas pudiera representar un problema, e incluye la Cuenca del Lerma, que abastece una parte del agua potable de la Ciudad de México. Se han detectado pesticidas en tejido adiposo humano en muestras obtenidas entre la población de la Ciudad de México (Albert et al., 1980). Aunque la contaminación del organismo humano por pesticidas ocurre con mayor facilidad a través del consumo de productos agrícolas, o bien a causa de la contaminación que los arroyos de los campos agrícolas pueden provocar en aguas superficiales utilizadas como fuentes de agua potable (National Research Council, 1993), el filtrado de los pesticidas al agua subterránea a través de la subsuperficie es otra vía contaminante potencial.

MUESTREO Y CERTIFICACIÓN SANITARIA

Como responsable de certificar la calidad del agua para el consumo humano, la Secretaría de Salud ha promulgado una serie de normas que establecen los requerimientos para los sistemas de abastecimiento de agua, el transporte de agua potable y los distintos procedimientos de muestreo (Tabla 5.1). Como resultado, la calidad del agua potable en la ZMVM se observa mediante muestreos que permiten establecer niveles de químicos inorgánicos, químicos orgánicos y parámetros bacteriológicos y físicos. La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal (DGOH-DDF) mantiene en Xotepingo un laboratorio central de control, el cual se encarga de realizar los análisis de calidad, para evaluar las instalaciones que abastecen el agua, tales como pozos, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo y tanques de almacenamiento. También se realizan muestreos del agua en tomas domiciliarias en las colonias de las 16 delegaciones que conforman el Distrito Federal.

El análisis de la calidad del agua se efectúa en uno o cuatro niveles de muestreo, dependiendo de la estimación que se haga sobre el tipo de agua de la zona. Al muestreo más simple se le conoce como nivel A, y se utiliza para detectar contaminación bacteriológica y obtener información sobre residuos libres de cloro, acidez, conductividad eléctrica, temperatura y turbiedad. El nivel 2A obtiene, adicionalmente, muestras de las características físicas y químicas prevalecientes en el Distrito Federal, tales como alcalinidad total, cloruros, color, demanda de oxígeno, dureza total y nitrógeno amoniacal. El muestreo en el nivel 3A cumple con las normas para el agua potable, establecidas por la Secretaría de Salud. Estas normas incluyen los parámetros adicionales de cloro, dureza (calcio y magnesio), los fluoruros, los sólidos

TABLA 5.1 Normas desarrolladas por la Secretaría de Salud en 1991 para certificar la calidad del agua potable para uso humano

Contaminante	Norma mg/l ¹
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	1.00
Cadmio	0.005
Dureza del calcio en CaCO ₃	300.00
Demanda de oxígeno químico	3.00
Cromo (VI)	0.05
Cobre	1.50
Cianuro	0.05
Fluoruro	1.50
Hierro	0.30
Plomo	0.05
Dureza del magnesio en CaCO ₃	125.00
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos, en N	5.00
Nitritos, en N	0.05
Selenio	0.05
Sulfato	250.00
Alcalinidad total en CaCO ₃	400.00
Zinc	5.0
Extractivos de carbón-cloroformo	0.30
Extractivos de carbón-alcohol	1.5
Nitrógeno orgánico en N	0.10
Fenoles	0.001
Color, Pt-Co Unidades	20
Cloro libre (agua con sobredosis)	0.20
	1.00
Sustancias activas al azul de metileno	0.50
pH	6.9–8.5
Sabor y olor	ND
Turbiedad, NTU (escala silica)	10
Coliformes fecales MPN, no./100 ml	0

¹A menos que se indique de otra forma. Publicadas en los Artículos 211–213 de la Ley general de salud, *Diario oficial de la Federación*, 14 de junio de 1991).

totales disueltos, nitratos, nitritos, nitrógeno orgánico, sulfatos, sustancias activas al azul de metileno, potasio, sodio, aluminio, arsénico, bario, cadmio, cobre, cianuro, fluoruro, hierro, plomo, magnesio, manganeso, mercurio, níquel, plata, selenio y zinc. El nivel 4A es un procedimiento de muestreo intensivo, el cual se practica en donde se sospecha la existencia de problemas específicos; este tipo de muestreo puede abarcar componentes sintéticos orgánicos, demanda de oxígeno biológico y químico, radón y otros patógenos humanos. En 1992, los porcentajes de aplicación de estos niveles de análisis fueron de 70 por ciento de muestras A, 15 por ciento de muestras 2A, 10 por ciento de muestras 3 A y 5 por ciento de muestras 4A.

Los datos comparativos de la calidad del agua son obtenidos mediante muestreos realizados por la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento del Estado de México para su área de servicio. Sin embargo, el Estado de México tiene el mismo nivel de infraestructura y personal que el que posee la DGOH-DDF para realizar muestreos de la calidad del agua.

CALIDAD DE LAS FUENTES DE AGUA

La calidad del agua en el acuífero de la Cuenca de México varía; algunas de estas variaciones se deben a las características de las formaciones geológicas de la región. El agua de las arcillas superficiales es de muy baja calidad, debido a su alta concentración de sales disueltas (de 1,000 a 130,000 miligramos por litro, Rodríguez, 1987). Por esta razón, los pozos de producción que abastecen agua potable suelen tomarla a una profundidad de más de 400 metros, con la finalidad de captar el agua de mayor calidad del acuífero principal; sin embargo, se han documentado algunas intrusiones de aguas salinas en el acuífero principal (Lesser-Illades et al., 1990). Las sales y los sólidos totales disueltos en los pozos de producción aumentan generalmente al pie de las montañas y hacia el centro de la planicie, tal y como en los antiguos lagos había sitios donde la salinidad era mayor. Elevadas concentraciones de sulfuro, hierro y manganeso, provenientes de las formaciones geológicas volcánicas de la región, han sido detectadas en áreas específicas (Bellia, et al., 1992). Aunque esto no representa un serio problema, se han cerrado pozos en algunos lugares donde las concentraciones químicas inorgánicas son más altas que las marcadas por las normas de calidad del agua (SARH, 1988).

El Laboratorio Central de Control del Distrito Federal en Xotepingo ha elaborado mapas identificando parámetros adicionales de agua subterránea que indican el potencial de contaminación orgánica y/o biológica. Por ejemplo, en 1993 pruebas realizadas en pozos revelaron áreas en las que el agua no cumplía con los requisitos establecidos de color, sólidos totales, amoníaco, nitrógeno orgánico, nitratos, carbón orgánico y dureza. Estos problemas tienden a localizarse en la sección este del Distrito Federal, así como en algunas porciones de los campos de pozos que lo rodean, tal y como se aprecia en la

Figura 5–1. Durante el mismo periodo, el agua en bloque de los pozos no cumplía con las normas fisicoquímicas fijadas (en el 31 por ciento de los casos) ni con las normas bacteriológicas establecidas (21 por ciento). En algunos de los sitios donde se detectaron problemas de calidad del agua, se lleva a cabo un tratamiento adicional a pie de pozo—que incluye oxidación, filtración y adsorción con carbón activado—como parte de un programa piloto; los pozos que no cumplen con las normas han sido cerrados.

El Estado de México reporta que el 23 por ciento de los 242 pozos de abastecimiento de agua que surten a su área de servicio no cumplen con las normas establecidas para bacterias coliformes, mientras el 11 por ciento no lo hace con las normas relativas a constituyentes inorgánicos. En 21 pozos se ha reportado un aumento en la concentración de sulfuro de hidrógeno, aunque debe aclararse que no existe una norma para detectar su presencia.

La información sobre la calidad del agua proporcionada por la DGCOH-DDF y la Comisión Nacional del Agua (CNA), indica que las fuentes principales de agua superficial de la ZMVM—el río Cutzamala, el río Magdalena y la presa Madin—tienen una calidad aceptable en lo general, con excepción de los altos niveles de coliforme fecal en el río Cutzamala (Comisión Nacional de Investigación, 1994). Como se describe en el [Capítulo 4](#), estas fuentes de agua superficial reciben tratamientos por coagulación química, filtración y cloración. El agua subterránea es tratada, por lo general, con cloración—por lo que toda el agua está por lo menos desinfectada. El agua superficial de muchos manantiales pequeños contribuye en 0.7 mcs al abastecimiento de agua de la ZMVM. Pruebas reportadas por la DGCOH-DDF en 1993 indicaban que una alta proporción de manantiales no cumple con las normas fisicoquímicas (38 por ciento) ni bacteriológicas (76 por ciento). No se encontró información disponible respecto a la aplicación de un tratamiento distinto a la desinfección en estas fuentes superficiales.

CALIDAD DEL AGUA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

El Laboratorio central de control de Xotepingo, en el Distrito Federal, analiza la calidad del agua en el sistema de distribución, mediante la aplicación de muestras en algunas estaciones hidrológicas—en el punto de entrada del agua que se envía al sistema de distribución, en las estaciones de bombeo y en los tanques de almacenamiento del sistema. El muestreo también se lleva a cabo en los puntos de la red llamados cruceros, en 1,270 colonias de las 16 delegaciones del Distrito Federal; en 1993 se tomaron 76, 968 muestras. En la [Tabla 5.2](#) se muestra el porcentaje promedio obtenido en 1993 para el cumplimiento de norma de cloro libre (0.2 miligramos por litro) en las 16 delegaciones del Distrito Federal. La elasticidad osciló entre el 87 y el 100

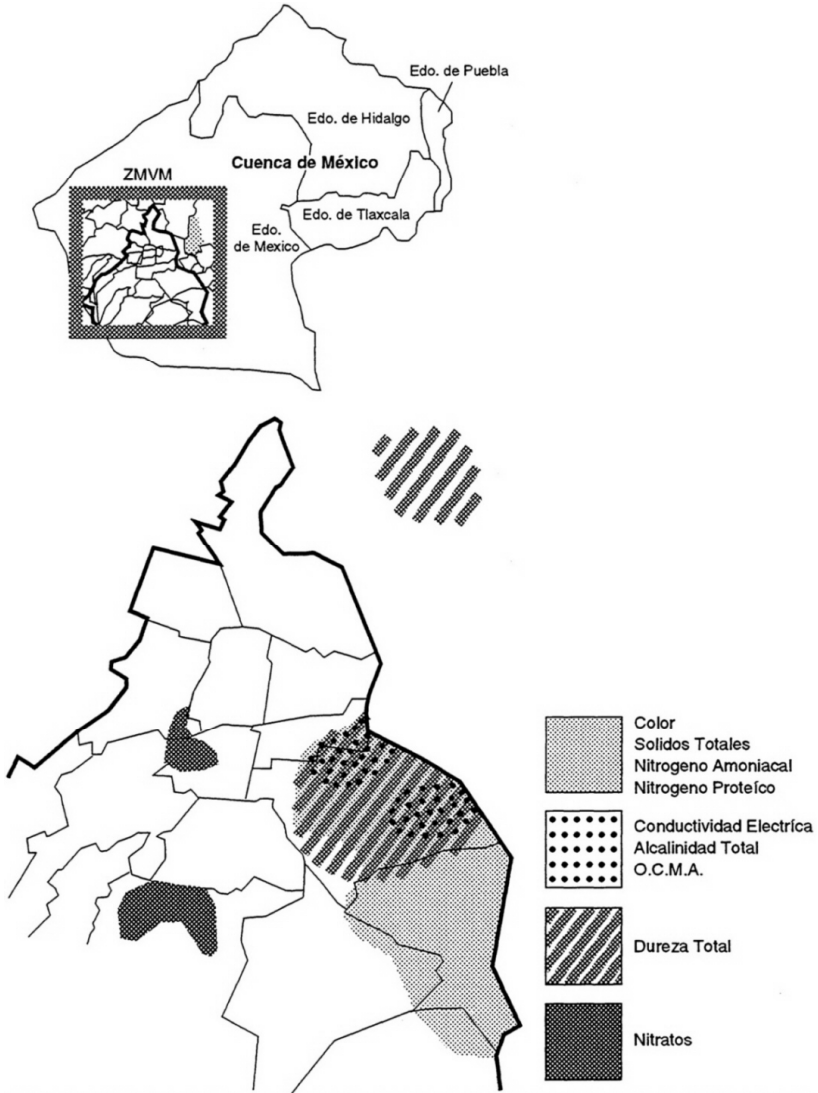


FIGURA 5-1 Áreas de los campos de pozos que abastecen al Distrito Federal, donde los parámetros indicados por las pruebas de calidad del agua no cumplen con las normas fijadas. Fuente: Laboratorio Central de Control de la DGCCH-DDF en Xotepingo.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

TABLA 5.2 Porcentaje de cumplimiento de norma de cloro libre (0.2 miligramos por litro) en el sistema de distribución de las colonias que conforman las 16 delegaciones del Distrito Federal. Las muestras fueron tomadas en 1993 en las llaves de agua de los consumidores

Delegaciones del Distrito Federal	Número de muestras	Porcentaje de cumplimiento de norma de cloro libre
Alvaro Obregón	7,060	95
Atzacapozálco	5,520	99
Benito Juárez	3,107	96
Coyoacan	6,979	97
Cuajimálpa	1,337	97
Cauhtemoc	2,555	96
Gustávo Madero	12,419	94
Iztacálco	3,572	96
Iztapalapa	19,210	87
Magdalena Contreras	1,709	93
Miguel Hidálgo	2,952	95
Milpa Alta	1,110	95
Tláhuac	4,023	87
Tlalpan	4,148	95
Venustiano Carranza	3,414	95
Xochimilco	4,215	89

Fuente: AIC-ANIAC, 1995.

por ciento, pero fue notablemente menor en las Delgaciones en la porción sureste del Distrito Federal (Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco).

Las pruebas realizadas en el momento en que el agua ingresa por primera vez al sistema de distribución señalan cuatro puntos importantes, localizados en los distritos de servicio sur y este (Figura 4-2). El muestreo promedio para 1993 muestra además una coloración más intensa en el Cerro de la Estrella y en Metro Cúbico, un alto nivel de nitrógeno orgánico en La Caldera, y niveles relativamente altos de turbiedad en Metro Cúbico y Xotepingo. Existen 326 estaciones de reclusión en el sistema de distribución. Este paso adicional de desinfección contribuye, aparentemente, a que el porcentaje de cumplimiento de las propiedades bacteriológicas sea alto en las colonias muestreadas (Tabla 5.2). Aún así, se reportan niveles más bajos de cumplimiento en algunas delegaciones localizadas en los distritos de servicio del sur (en Xochimilco, por ejemplo) y al este (en Iztacalco e Iztapalapa, entre otras).

El Estado de México también realiza muestreos de calidad del agua potable en el sistema de distribución y las tomas domiciliarias. Muestras de agua de tomas domiciliarias fueron analizadas en las 17 delegaciones en 1993, para

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

detectar la presencia de cloro residual. El porcentaje de muestras positivas recopiladas osciló entre el 47 y el 100 por ciento en los diferentes distritos (tabla 5.3). De acuerdo con las autoridades correspondientes en la entidad, el deterioro de la calidad del agua ha podido detectarse en las tomas domiciliarias en varias delegaciones; dicho deterioro, afirman, se debe a la infiltración de agua de mala calidad proveniente de un área localizada alrededor de un sistema con fugas de agua, así como a la precipitación de sales (principalmente calcio, magnesio, hierro y manganeso) en las líneas de distribución.

Las fugas en el sistema de distribución se cuentan entre las principales preocupaciones para quienes se ocupan tanto de la calidad como del abastecimiento de agua. Cuando el drenaje tiene fugas y existen líneas de conducción dislocadas, el suelo se impregnará induciendo infiltración de agua contaminada hacia las líneas de conducción, efecto que se acentúa cuando la presión es baja. De acuerdo con el laboratorio la calidad del agua de la DGCOH-DDF, las colonias que con mayor frecuencia experimentan interrupciones del servicio, reciben agua de mucho menor calidad que la de las colonias que reciben un abastecimiento constante.

Rivera et al. (1979) condujo el primer estudio independiente sobre la presencia de agentes patógenos en tomas domiciliarias en el Distrito Federal; la investigación encontró que 10 de un total de 25 muestras contenían una o más de las formas activas de organismos patógenos. Un estudio más reciente sobre la calidad bacteriológica del agua recibida en un hospital de la Ciudad de México (Juárez et al., 1989), encontró que el 90 por ciento de las muestras eran inaceptables debido a la concentración de cloro, o a los coliformes totales.

La irregularidad en el abastecimiento de agua hace de los tinacos para almacenamiento de agua una necesidad. El uso de tinacos es común en la mayoría de las azoteas; se utilizan para almacenar agua cuando la presión en el sistema es baja o inadecuada. En muchos lugares, los tanques permanecen abiertos y no se limpian con regularidad, lo cual propicia que el cloro residual se disipe y estimule la proliferación de microorganismos. La contaminación microbiológica de los tinacos puede deberse a la contaminación del cabezal del pozo, a la infiltración de contaminantes por las fugas del sistema de distribución de agua, así como a la contaminación por microorganismos suspendidos en la atmósfera, afectando directamente a los tinacos que se dejan destapados y expuestos (Rivera et al., 1994). Los niveles normales de cloro (0.2 miligramos/litro) que se mantienen en el sistema de distribución hasta las tomas domiciliarias, no son suficientes como para desactivar los microorganismos que puedan haber ingresado a las tuberías. La importancia de mantener un remanente de cloro estriba en que previene el crecimiento de lama en el sistema y, lo que es más, resulta un indicador cuando ocurre una recontaminación. La ausencia de este remanente es causa de preocupación, pues indica la posibilidad de que algún tipo de contaminación haya ocurrido—pues esta contaminación consumiría el cloro.

TABLA 5.3 Porcentaje de las muestras con residuos de cloro, en tomas domiciliarias de agua de los distritos metropolitanos del Estado de México. Los resultados son promedios obtenidos en 1993.

Municipios conurbados del Estado de México	Porcentaje de cloro libre detectado
Atizapan de Zaragoza	81.4
Huixquilucan	89.4
Naucalpan	88.9
Nicolás Romero	80.9
Tlalnepantla	89.8
Cuautitlán Izcalli	76.1
Cuautitlán	16.6
Coacalco	100.0
Tultitlán	55.8
Ecatepec	96.7
Nezahualcóyotl	97.4
Tecámac	93.7
Chicoloapan	100.0
Chimalhuacán	83.3
La Paz	47.3
Chalco	56.0
Ixtapaluca	72.2

Fuente: AIC-ANIAC, 1995.

El agua residual que el Gran Canal envía al área de Chiconautla se utiliza para irrigar 5,500 hectáreas. Fuera de la cuenca, parte del agua residual en bloque se usa para irrigar alrededor de 80,000 hectáreas de sembradíos en el Estado de Hidalgo, una práctica que ha evolucionado desde 1934. La protección a la salud pública se maneja a través de restricciones a las cosechas, más que al tratamiento de aguas residuales. En 1991, la entonces Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), (hoy Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL) y la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SARH), establecieron una norma que prohíbe el uso de aguas residuales sin tratar en los productos agrícolas que pueden comerse crudos y en los que crecen en la superficie de la tierra. Sin embargo, la irrigación con aguas residuales sin tratamiento podría causar aún problemas de salud (Shuval, 1986), y también, deberá controlarse cuidadosamente la irrigación con aguas residuales tratadas. Como ejemplo, un estudio en la región de Xochimilco, al sur de la Ciudad de México, encontró niveles significativos de bacterias y coliformes fecales en el suelo y en algunos vegetales. La irrigación proviene de los canales de Xochimilco que reciben

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

aguas residuales tratadas, pero el canal abierto, de 10 kilómetros de largo, está sujeto a la contaminación de los asentamientos humanos y las granjas adyacentes (Sepúlveda et al., 1987).

Además de la exposición directa a las aguas crudas que se introducen a los canales abiertos, los seres humanos están expuestos al polvo en áreas donde las aguas crudas llegan a resecarse. Este polvo, que suele quedar suspendido en partículas aéreas, puede contener protozoarios vivos. Aunque la mayoría de estos protozoarios aislados en las partículas aéreas no son patógenos, en algunos lugares específicos de la región de Xochimilco se han identificado algunos que sí lo son (Rivera et al., 1987).

PROBLEMAS DE SALUD ASOCIADOS AL AGUA

En la ZMVM, al igual que en el resto del país, las enfermedades infecciosas gastrointestinales son el principal problema de salud. Los niños son especialmente vulnerables a este tipo de padecimientos, que a menudo provocan diarrea aguda y, en ocasiones, la muerte por deshidratación. En 1991, la tasa de diarrea aguda en México era de 3,233 casos por cada 100,000 habitantes; 46 por ciento de estos casos ocurrieron en niños menores de 5 años. La tasa de enfermedad en el Distrito Federal es más baja que la del Estado de México—y que la del país en general. En 1991, los datos del censo reportaron que las enfermedades infecciosas intestinales son la segunda causa principal de mortalidad infantil en toda la nación (con una tasa de 278.4 por cada 100,000), la tercera en el Estado de México (450 por 100,000) y la cuarta en el Distrito Federal (156.7 por 100,000) (INEGI, 1991a). La diarrea aguda prevalece en la ZMVM, donde algunas áreas muestran una mayor incidencia y mortalidad que otras. Las figuras 5-2a y 5-2b, muestran la incidencia de enfermedades diarreicas y las tasas de mortalidad de la población en las 16 delegaciones del Distrito Federal y en las 12 de los 17 municipios conurbados del Estado de México. El promedio de enfermedad y mortalidad es más elevado en las jurisdicciones con mayores características rurales, localizadas al sureste del Distrito Federal (Milpa Alta y Tláhuac), así como en algunos municipios similares del Estado de México. Como se explicará en el Capítulo 6, muchas de estas áreas tienen por lo general un acceso menor al agua conducida por tuberías hasta las casas habitación (véase Figura 6-1). Gracias a la administración de una efectiva terapia de rehidratación oral, la mortalidad debida a las enfermedades diarreicas ha descendido a partir de los años ochenta. Sin embargo, este tratamiento no ataca la causa de las enfermedades diarreicas. Los parásitos protozoarios, como la *Giardia* y la *Entamoeba histolítica*, son agentes prominentes causales de diarrea. La disentería amibiana, endémica en México (Organización Panamericana de la Salud, 1990b), se transmite bajo la forma de quistes de *Entamoeba histolítica*, a menudo a través de agua de beber contaminada por heces (McFadzean y Pugh, 1976). El nivel normal de cloro

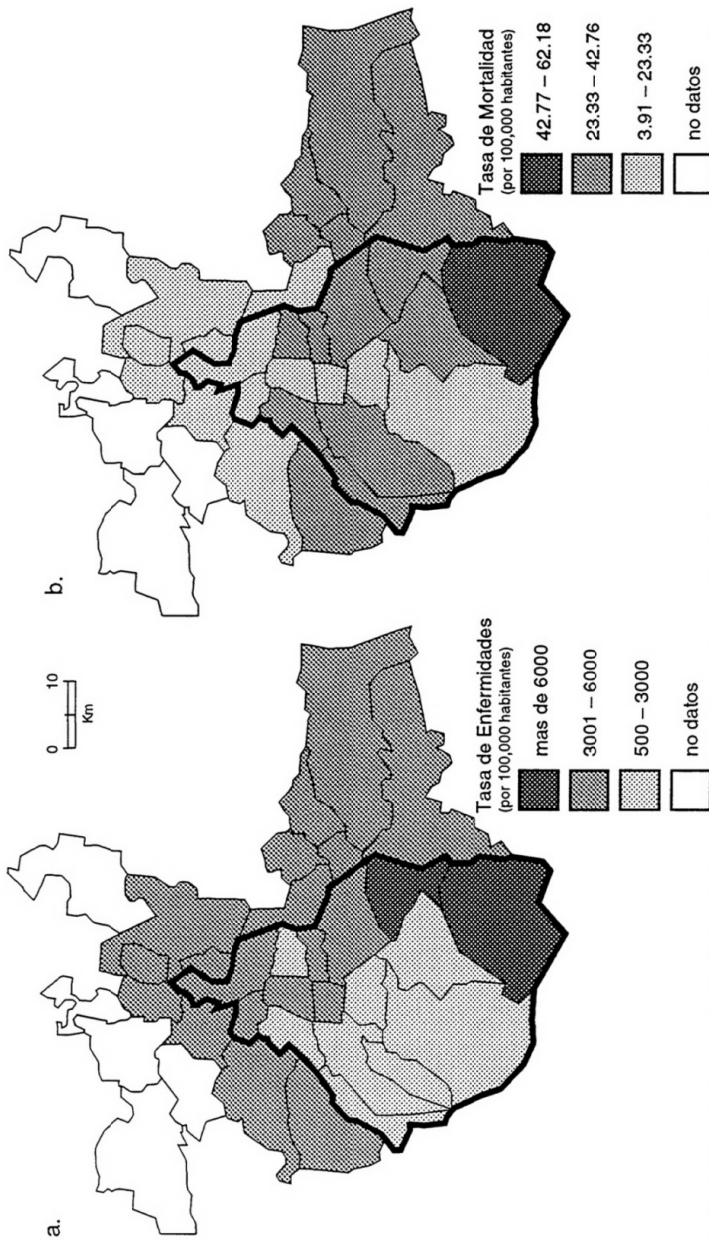


FIGURA 5-2 Incidencia de las enfermedades diarreicas agudas (a), y tasas de mortalidad (b) por delegación en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Datos fue cobrado por jurisdicciones sanitarias, los cual no corresponden exactamente a las municipios conurbados del Estado de México. Por esta razón, “no datos” es indicada para cinco municipios. Fuente: INEGI, 1991a.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

tiene poco o ningún efecto en la amiba enquistada (Rose et al., 1991). Las infecciones de *Giardia* en niños pequeños representan igualmente un problema y prevalecen con promedios elevados en las áreas pobres de la Ciudad de México (Marrow et al., 1992). Otros parásitos protozoarios dañinos para la salud documentados en la Ciudad de México son el *Balantidium coli*, *Naegleria fowleri*, así como algunas especies de *Acanthamoeba* (Rivera et al., 1978, 1983, 1984, 1986). La exposición a las especies patógenas de *Naegleria* y *Acanthamoeba* puede provocar desórdenes en el sistema nervioso central e incluso la muerte, especialmente en niños pequeños. Se cree que los patógenos se adquieren por la nariz al nadar. Los niños que acostumbran jugar en el agua están especialmente en riesgo. Por esta razón, las autoridades deben poner especial cuidado en que las aguas destinadas al uso recreativo reciban los tratamientos adecuados.

Una gran variedad de virus entéricos pueden ser ingeridos en el agua no potable, incluidos algunos subgrupos de poliovirus, virus coxsackie, ecovirus, así como virus de hepatitis infecciosas. Estos virus pueden provocar desórdenes respiratorios, gastrointestinales y del sistema nervioso central. La hepatitis infecciosa produce enfermedades del hígado; la hepatitis A es, probablemente, endémica en México (Cech y Essman, 1992). En 1986 ocurrieron dos grandes crisis de hepatitis aguda en el Estado de Morelos, al sur de la Ciudad de México, en áreas sin servicio de agua, o con falta de servicio de drenaje. Esta fue la primera hepatitis epidémica distinta a las tipo A y B provocada por agua, documentada en Latinoamérica (Okun, 1991).

Entre todas las enfermedades conocidas causantes de diarrea, la bacteria del cólera, el *Vibrio cholera*, sobresale por su aguda sintomatología. En 1991 se reportaron casos de cólera en Perú; desde entonces, la enfermedad se propagó a la gran mayoría de los países latinoamericanos. En México hubo 2,690 casos, de los cuales un pequeño porcentaje (entre dos y tres por ciento) tuvo lugar en la Zona Metropolitana del Valle de México. Otras bacterias que afectan la salud transmitidas por agua contaminada, o por comida infectada por el uso de agua contaminada, son la *Salmonella*, *Shigela*, *Campylobacter foetus*, *Yersinia enterocolitica* y *E. coli* (Sarti-Gutiérrez et al., 1989; Castro, 1991).

La criptosporidiosis es una de las más graves enfermedades microbianas, porque puede causar infección aún a bajas concentraciones y se adapta muy bien a vivir en el agua y prede ser resistente a la desinfección que generalmente se aplica al agua potable (Rose, 1993). Como lo evidenció el estallido de más de 400,000 casos, y más de 100 muertes en Milwaukee en abril de 1993, la contaminación puede ocurrir a pesar de que no se excedan los límites indicados en las normas para el agua potable (Fox, 1993; Rowan, 1993). No hay una terapia conocida para esta infección (Soave, 1990), y personas que tengan deficiencias del sistema inmunológico, como los pacientes de SIDA, niños y pacientes de cáncer, pueden encontrarse en riesgo. Debido a su similitud con otras enfermedades diarreicas, la criptosporidiosis no aparecerá de manera

aislada hasta que se haga un esfuerzo por encontrarla, y por ende los datos son escasos.

Problemas de Salud Debidos a la Presencia de Químicos Tóxicos

Además de los problemas típicos de los países en desarrollo, tales como la alta frecuencia de enfermedades infecciosas causadas por la contaminación fecal, México enfrenta los problemas característicos de las sociedades industriales (Organización Panamericana de la Salud, 1990b, 1990a). La contaminación del agua con químicos tóxicos (al igual que la contaminación del aire, el suelo y la comida) va en aumento en México. Lo químicos más preocupantes son los nitratos, los metales tóxicos y otros contaminantes inorgánicos, distintos solventes orgánicos volátiles y semivolátiles, los pesticidas agrícolas, los herbicidas y los radioquímicos. Además, son contribuyentes potenciales los lixiviados tóxicos originados por los restos químicos indebidamente desechados, las fugas en el almacenamiento subterráneo de productos industriales o generadores de energía, el agua de lluvia contaminada por la contaminación del aire, el escurrimiento en zonas agrícolas y los desechos procedentes de la actividad minera. Algunos químicos pueden provocar una toxicidad aguda o crónica. Otros pueden ser genotóxicos y tener efectos carcinogénicos, mutagénicos o teratogénicos. Según la Organización Panamericana de la Salud (1990a), aunque aún son superados como causa de mortalidad por las enfermedades transmisibles, los cánceres empiezan a emerger como riesgos crecientes en México y otros países latinoamericanos.

Los productos derivados de la desinfección con cloro del agua ya tratada (por ejemplo, los trihalometanos), se han convertido en tema de preocupación para las sociedades industrializadas. Estos derivados tóxicos se forman cuando al agua que contiene componentes orgánicos se le añade cloro para desinfectarla. El resultado del balance entre el riesgo de los derivados de la desinfección (que son riesgos de bajo nivel y a largo plazo) y el riesgo de los microorganismos infecciosos, ha sido examinado recientemente (véase, por ejemplo, International Life Sciences Institute, 1992; Craun, et al., 1994b). Frente a las altas tasas de mortalidad por enfermedades contraídas a través del agua, los riesgos de enfermedades crónicas derivadas de su desinfección, riesgos comparativamente mucho menores, no tienen una prioridad tan alta.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

6

Administración de la Demanda de Agua

Los problemas de calidad del agua y las limitaciones en su abastecimiento en la Zona Metropolitana del Valle de México están relacionados principalmente con el crecimiento de la población, así como con las tendencias macroeconómicas y de la economía regional, asuntos que escapan a la competencia de los funcionarios encargados de la planeación de su manejo. La planeación del uso de la tierra juega también un papel importante en el crecimiento de la región (véase los reportes de Garza, 1987 y 1989). En la actualidad, se llevan a cabo esfuerzos decididos para proteger de nuevas invasiones las áreas de recarga del acuífero y el espacio abierto restante; sin embargo, los esfuerzos por controlar el crecimiento en la periferia urbana seguirán enfrentando dificultades. Aunque la amplitud de estos temas sociales rebasa los fines de este reporte, es claro que los costos que implicaría integrar nuevas fuentes de abastecimiento a la ZMVM se antojan prohibitivos en un futuro predecible—especialmente si son considerados los costos reales y los daños a terceros. Es claro también que el costo total del uso de agua en la ciudad debe incluir el costo del desarrollo de sistemas de alcantarillado, así como el de instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales.¹

¹ Este reporte no intentó ir más allá de la recolección de datos secundarios y ya disponibles para generar una discusión general sobre la administración de la demanda de agua en la ZMVM. La información que se requiere para pronosticar la demanda está fuera de las miras de este proyecto. El reporte servirá como un puente para auxiliar al gobierno mexicano en la generación de datos para sustentar las recomendaciones que se propagan. Como estudio transnacional que es, de ninguna manera es intención del comité instruir al gobierno de México en sus políticas sociales

Este capítulo contempla tres problemas no menos conocidos, aunque tampoco menos fundamentales: (1) el descuido de las políticas de conservación en la planeación del sector agua; (2) los graves problemas financieros asociados a las tarifas y recaudación tradicionales; (3) el difícil y a menudo inadecuado acceso al agua de buena calidad que afecta a las zonas marginadas de la cuenca. Aunque la naturaleza de estos problemas tiende a ser más conductual que técnica, las soluciones propuestas en el presente capítulo (soluciones que pueden describirse como de administración de la demanda) son directas y factibles. La administración de la demanda tiene dos componentes esenciales: (1) la conservación, para preservar las reservas disponibles, y (2) la recuperación de costos. La administración de la demanda es complementaria a las soluciones tecnológicas que buscan aumentar la disponibilidad de agua y asegurar que ésta se utilice de manera eficiente y equitativa. La administración de la demanda no es una reacción ante una situación de crisis, sino una herramienta que puede aplicarse bajo cualquier circunstancia.

Sin embargo, las estrategias de administración de la demanda pueden no resultar populares, pues hacen evidente el precio real del agua al revelar la verdadera distribución de costos y beneficios de un consumo ampliamente subsidiado. En consecuencia, las tarifas del agua en la mayoría de las metrópolis tienden a mantenerse muy por debajo de los costos reales, dado que los gobiernos locales temen tener que enfrentarse a reacciones adversas. Por lo tanto, las políticas de administración de la demanda se llevan a cabo en raras ocasiones, a menos que la situación se torne muy comprometida—como sucede hoy en la ZMVM.

PROBLEMAS Y PRIORIDADES

Reconocer el problema que implica enfrentar demandas crecientes de agua con un nivel de calidad aceptable es una actitud reciente en México. Buenfil (1993), enlistó en la forma siguiente los principales temas relativos al abastecimiento de agua: conservación; recuperación de costos y solvencia financiera de la entidad que distribuya el agua; equidad en su uso; pérdidas no calculadas en el abastecimiento; necesidad de información.

En muchos sentidos, la recuperación de costos es un asunto más urgente que el de la conservación. En México, los altos subsidios otorgados al abastecimiento de agua han permitido el acceso a volúmenes ilimitados a un costo artificialmente bajo. Debido a que las industrias consumen grandes cantidades de agua, estos subsidios han servido para alentar el desarrollo industrial en la

con respecto al agua. Más bien, este documento señala nuevas direcciones que se pueden seguir para asegurar que el abastecimiento de agua se mantenga en una base sustentable, asegurando la eficiencia y la equidad de su distribución.

ZMVM. Por lo tanto, los subsidios han propiciado un mayor consumo y han contribuido a agudizar la escasez del agua. Esta situación no sólo es propia de México, pues hasta hace poco ofrecer agua a bajo costo era una política común en todo el mundo. Los subsidios para el agua han sido siempre populares cuando los gobiernos han querido promover el desarrollo económico local. También han sido defendidos como políticas para combatir la pobreza.

Dadas las restricciones presupuestales, los niveles históricos de subsidio al sector del agua ya no son sostenibles. Las autoridades del ramo se han percatado de que deben recurrir a los usuarios para recabar fondos que permitan mantener el nivel de servicio existente e invertir para mejorarlo en el futuro. Más de N \$3,000 millones de nuevos pesos al año se invierten en subsidiar el agua y los servicios sanitarios en el Distrito Federal, estos es alrededor de N\$375 por persona (World Bank, 1992). En el DF apenas se cobran N\$0.323 por metro cúbico de agua (considerablemente menos que en otras ciudades de México), aun cuando el costo marginal de abastecimiento de agua a la ZMVM, es de alrededor de N\$3.00 por metro cúbico, que es uno de los más altos del país (World Bank, 1992). Por ejemplo, en la ciudad de Monterrey, se cobra N\$1.158 por metro cúbico. Municipios conurbados del California del Sur compran agua de importación por aproximadamente \$0.33 por metro cúbico (1994 precios). El precio domestico varían de como \$0.22 al Irvine Ranch Water Distrit, que tiene acceso a agua subterránea, a como \$0.46 por medidor cúbico por La Ciudad de San Diego, que importa casi toda su agua.

A pesar de que las estrategias de administración de la demanda han sido subutilizadas en el pasado, es importante reconocer que este descuido es característico de la planeación del abastecimiento de agua en todo el mundo y, más aún, que las principales reformas relativas a la demanda ya tienen lugar en México. De hecho, en muchos aspectos México se encuentra a la vanguardia de los países en desarrollo. Cada vez más, se reconoce que el agua es un bien económico, por lo que comienza a implementarse una política de precios adecuados para reducir el gasto y aumentar la recuperación de costos, apoyar la expansión financiera y mejorar los sistemas de abastecimiento de agua en todo el país. El Departamento del Distrito Federal (DDF) ha iniciado un ambicioso programa para reemplazar los muebles y accesorios de baño existentes por unos de menor consumo de agua, y con especial decisión se ha dado a la tarea de corregir las fugas en el sistema. Durante el año pasado se introdujeron varios programas y leyes federales nuevas, entre estos un programa de cobro por el uso de efluentes, para financiar el tratamiento de aguas residuales, así como una serie de cambios en la asignación de los derechos del agua. La última reforma permitió a iniciar un diálogo abierto entre las partes interesadas sobre la posibilidad de negociar derechos por el uso del agua en un mercado abierto. Se observa una tendencia hacia la administración privada de los servicios municipales, en términos que mantengan la propiedad pública y al mismo tiempo in

traduzcan en forma gradual la competencia. Estos cambios institucionales se discuten en el [capítulo 7](#).

IMPUESTOS SOBRE EL USO Y ACCESO AL AGUA EN LA ZMVM

Un análisis riguroso de la demanda de agua debe incluir un pronóstico o un cálculo de los requerimientos de agua (véase Piña et al., 1993, para una aproximación de este tipo en 30 ciudades mexicanas). Sin embargo, la predicción confiable de la demanda es un procedimiento técnico complejo, que requiere de recabar un número considerable de datos precisos (véase Kindler y Russell, 1984, y Munashinghe, 1992) y que por lo tanto está más allá del alcance de este reporte. En su lugar, la aproximación realizada en este estudio consiste en presentar un perfil relativo al uso del agua en la ZMVM, en la medida que lo permiten los datos disponibles, para determinar hacia dónde se pueden dirigir de manera adecuada los esfuerzos de conservación. Un estudio como este puede también ayudar a detectar cuáles regiones tienen mayor necesidad de mejorar su abasto como función de su economía.

Como se señaló en el [capítulo 4 \(tabla 4.1\)](#), la mayor parte del uso de agua en la ZMVM es de carácter “doméstico”; le siguen el uso “industrial” y, por último, el “comercial y de servicios”. Para fines de conservación, es más fácil negociar con aquellos usuarios que usan grandes cantidades de agua y son susceptibles de reaccionar a los incentivos de conservación (World Bank, 1991). La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal (DGCOH-DDF) ha identificado hasta 60,000 usuarios “principales” de agua—aquellos que consumen por lo menos 60 metros cúbicos mensuales. Esta cifra incluye a 3,107 usuarios industriales, 16,157 usuarios comerciales y 39,892 usuarios residenciales (Departamento del Distrito Federal, 1992b).

Hasta 1991 las tarifas para los usuarios industriales y comerciales fueron las mismas que las que se aplicaban a los usuarios domésticos (Bahl y Linn, 1992). En la actualidad, la tarifa para el uso no doméstico es considerablemente más alta. La estructura de tarifas adoptada en 1991—una tarifa progresiva en bloque que cobra más por metro cúbico en los niveles de consumo más altos—proporciona a las industrias con sistema de medición de consumo, mayores incentivos para emprender acciones dirigidas a la conservación ([tabla 6.1](#)).

A los usuarios no domésticos sin medidores, incluida la industria, se les cobra con base en el diámetro de la tubería. Por ejemplo, una cuota bimestral de N\$84 se carga por las tuberías menores de 13 milímetros de diámetro, y la tarifa aumenta rápidamente conforme aumenta el diámetro de la tubería, hasta alcanzar los N\$669,235 en el caso de tuberías mayores a los 300 milímetros de diámetro (Departamento del Distrito Federal, 1992b). Los cargos más altos se cobran a usuarios como la Cervecería Moctezuma. El Departamento del Dis

TABLA 6.1 Tarifas de agua para los usuarios no domésticos (industrial y comercial) en el Distrito Federal, 1992.

Consumo bimestral (metros cúbicos)	Costo por metro cúbico (N\$)
Menos de 30	\$1.2
de 30 a 60	\$2.0
de 60 a 120	\$2.3
de 120 a 240	\$3.0
de 240 a 420	\$3.5
de 420 a 660	\$4.2
de 660 a 960	\$4.9
Por encima de 960	\$5.8

Fuente: Departamento del Distrito Federal, 1992b.

trito Federal ha puesto especial énfasis en instalar medidores a los usuarios que consumen más de 240 metros cúbicos por bimestre (Departamento del Distrito Federal, 1992a).

Los usuarios domésticos representan alrededor del 67 por ciento del total, y constituyen aproximadamente el mismo porcentaje de los usuarios grandes. Como se muestra en la [tabla 6.2](#), las tarifas del agua de uso doméstico oscilan entre N \$0.4 y N\$3.20 por metro cúbico—la última cifra representa el consumo más elevado (Departamento del Distrito Federal, 1992b). La creciente unificación del esquema de tarifas ofrece incentivos para la conservación donde los niveles de consumo son más altos. Sin embargo, sólo cerca de la mitad de los usuarios de tipo domésticos tienen medidor en el Distrito Federal; muchos de estos medidores no funcionan, por lo que llevar a cabo el cobro de las cuentas ha sido irregular. Un importante número de usuarios de tipo doméstico y no doméstico pagan una cuota fija por el servicio de agua.

Los hogares de bajos ingresos representan una preocupación particular, dado que por lo general no tienen un acceso al agua que les permita cubrir en forma adecuada sus necesidades de salud e higiene. Desafortunadamente, para la realización de este estudio, no se dispuso de datos que relacionen los niveles de ingreso con la conducta en el consumo. La Organización Mundial de la Salud ha establecido un mínimo de 150 litros diarios por hogar en ciudades de los países desarrollados; para combatir las enfermedades relacionadas con el agua, se consideran necesarios 75 litros al día (Falkenmark y Suprpto, 1992). El Banco Mundial calcula que se requieren por lo menos 50 litros per cápita al día para evitar problemas de salud. Como ya se ha señalado en el [capítulo 5](#), la causa principal de mortandad infantil en áreas rurales y en asentamientos irregulares son todavía las enfermedades diarreicas. Algunas evidencias sugieren

TABLA 6.2 Tarifas de agua para usuarios domésticos en el Distrito Federal, 1992.

Consumo bimestral (metros cúbicos)	Costo por metro cúbico
Hasta 10	Sin cargo (N\$)
de 10 a 20	0.4
de 20 a 30	0.5
de 30 a 60	1.2
de 60 a 120	1.4
de 120 a 240	1.9
de 240 a 420	2.2
de 420 a 660	2.5
de 660 a 960	2.8
Más de 960	3.2

Fuente: Departamento del Distrito Federal, 1992b.

que en los asentamientos irregulares de la ZMVM el promedio de uso per cápita es de 20 litros (Schteingart, 1993). Esta cantidad puede resultar suficiente para beber y cocinar, pero no para conservar un medio ambiente saludable. Por otra parte, los hogares de mayores ingresos suelen consumir cientos de litros de agua per cápita al día para usos discrecionales—plantas decorativas, prados y albercas—además de la que destinan a los usos más extendidos—inodoros y regaderas.

La [tabla 6.3](#) muestra la disponibilidad de fuentes de agua entubada por delegación (en las siguientes categorías: toma interior, toma en patio, común, o sin ninguna) según el censo de 1990, el más reciente disponible. Este censo establece una diferencia entre las llaves de agua en “patio interior” (localizadas fuera de la casa, pero en la propiedad del residente). La “Común” puede abarcar tanto las tomas que tienen acceso un determinado número de viviendas, y también las pipas que proporcionan agua cada determinado tiempo en lugares específicos (agua que más tarde debe ser transportada a la casas), como a las que reparten el agua directamente en los domicilios. Las casas que no tienen acceso a las fuentes públicas de agua, presumiblemente se abastecen de agua superficial, pozos ilegales, o bien de vendedores particulares. Los datos de la tabla revelan que mientras el 97 por ciento de los hogares del Distrito Federal posee algún tipo de acceso al agua entubada, sólo el 74 por ciento la obtiene en el interior de su casa. El porcentaje restante depende de una toma exterior. En el área de servicio metropolitana del Estado de México, apenas el 52 por ciento de los hogares reportados obtienen el agua del interior de la casa, mientras que el 33 por ciento la obtiene del exterior. Tres por ciento de los hogares del Dis

TABLA 6.3 Fuentes de agua para uso doméstico en la Zona Metropolitana del Valle de México, 1990.

Interior	Número de viviendas	Porcentaje de viviendas por fuente de abastecim			
		Patio	Toma común	Ning	
Alvaro Obregón	133,937	72.6%	24.2%	3.2%	2.5%
Azcapotzalco	103,130	76.3%	22.9%	0.8%	0.7%
Benito Juárez	114,002	95.4%	4.5%	0.2%	0.3%
Coyoacán	142,533	78.7%	20.8%	0.6%	0.6%
Cuajimalpa de Morelos	23,422	55.0%	40.1%	5.0%	5.6%
Cuauhtémoc	157,079	91.9%	7.7%	0.3%	0.7%
Gustavo A.Madero	262,905	73.6%	25.5%	0.9%	1.6%
Iztacalco	93,815	75.4%	24.2%	0.4%	0.7%
Iztapalapa	294,738	62.4%	36.1%	1.6%	5.4%
Magdalena Contreras	40,247	59.3%	38.8%	1.9%	3.4%
Miguel Hidalgo	98,051	84.5%	15.1%	0.4%	0.6%
Milpa Alta	12,258	42.2%	50.8%	7.0%	17.1%
Tláhuac	39,311	39.0%	59.7%	1.2%	5.8%
Tlalpan	103,137	66.4%	30.2%	3.4%	13.8%
Venustiano Carranza	117,640	82.0%	17.7%	0.3%	0.7%
Xochimilco	52,966	55.0%	40.1%	4.9%	9.1%
DF Total	1,789,171	74.3%	24.4%	1.3%	3.1%
Atizapán de Zaragoza	64,990	58.6%	25.5%	0.8%	5.9%
Coacalco	32,072	89.1%	7.0%	0.4%	2.1%
Cuautitlán	9,693	66.0%	30.0%	0.9%	2.7%
Cuautitlán Izcalli	68,019	76.2%	17.5%	2.3%	2.9%
Chalco	54,155	13.7%	12.9%	1.8%	69.9%
Chicoloapan	10,749	27.2%	65.5%	2.0%	4.7%
Chimalhuacán	44,016	21.6%	56.2%	6.3%	15.1%
Ecatepec	283,413	46.8%	26.4%	1.2%	9.0%
Huixquilucán	25,392	51.5%	34.8%	2.1%	9.9%
Ixtapaluca	26,460	32.6%	35.3%	3.0%	28.5%
La Paz	25,226	39.3%	46.1%	2.0%	11.5%
Naucalpan	159,372	57.3%	39.2%	1.1%	1.3%
Nezahualcóyotl	239,951	52.3%	43.3%	0.7%	2.3%
Nicolás Romero	34,732	34.2%	46.9%	1.6%	16.4%
Tecamac	24,079	42.8%	44.5%	0.7%	11.3%
Tlalnepantla	144,366	65.3%	30.6%	1.3%	1.8%
Tultitlán	49,847	65.8%	21.5%	0.6%	11.2%
Estado de México	1,296,532	52.1%	32.8%	1.4%	8.8%
ZMVM	3,085,703	63.3%	27.4%	1.3%	5.5%

Fuente: Censo Nacional de Población, 1990 (INEGI, 1991).

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.



Fotografía 6-1 Un carro tanque de los llamados *pipas*, abastaciéndose de agua para su distribución en los alrededores del área metropolitana de la Ciudad de México. Cortesía de Robert Farvolden.

trito Federal y casi el nueve por ciento en el Estado de México carecen de acceso al abasto público de agua.

Como se puede observar en la [tabla 6.3](#), algunas delegaciones de la ZMVM tienen niveles de servicio considerablemente más bajos que otras. En el Distrito Federal, por ejemplo, Tláhuac, Milpa Alta, Xochimilco y Tlalpan son áreas de servicio más bajo. De las 17 delegaciones que conforman el área de servicio del Estado de México, siete tiene más del 10 por ciento de hogares sin acceso al agua entubada, incluyendo a casi el 70 por ciento de los hogares que conforman la delegación Chalco. La [figura 6-1](#) es una relación por áreas del servicio de agua en la ZMVM, tal como se reportó en el censo de 1990. Las áreas con peor servicio son las más recientemente desarrolladas, como la parte sur del Distrito Federal y la porción este del Estado de México.

La existencia de áreas con muy bajo nivel de servicio se entiende cuando se considera el enorme crecimiento del área metropolitana. La [figura 6-2](#) muestra el aumento en los servicios de agua y de drenaje en la ZMVM entre 1960 y 1990, al tiempo que ilustra varios aspectos relacionados al tema. Destaca el sensible aumento del número de hogares con servicio de agua en toda la zona

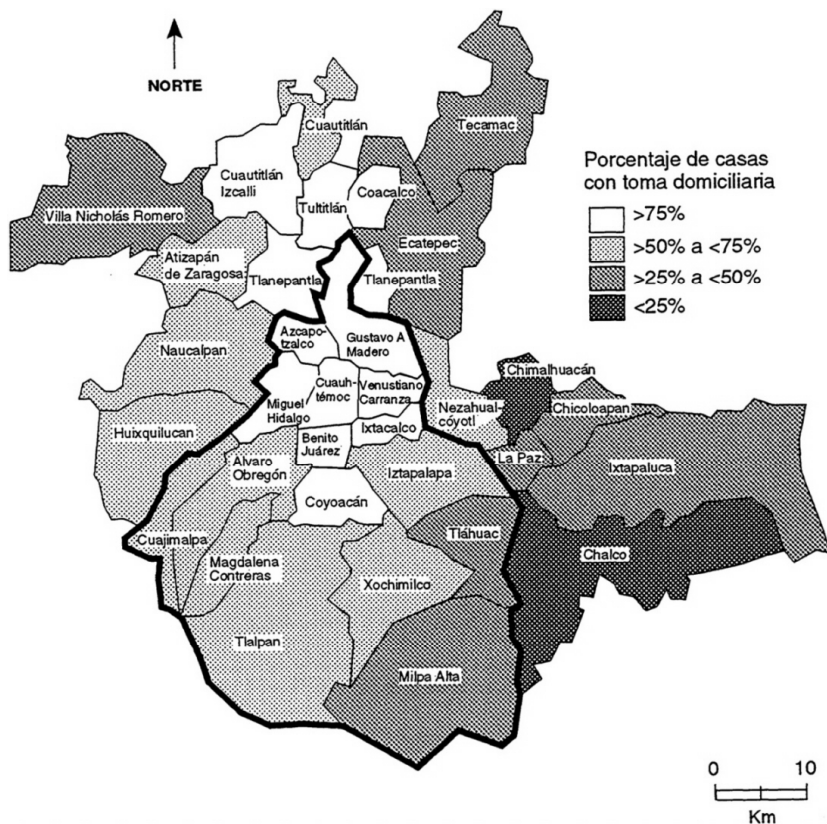
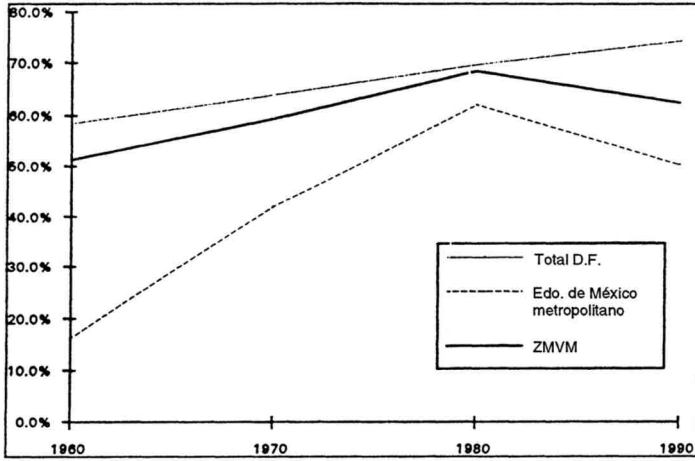


FIGURA 6-1 Porcentaje de hogares por delegación con abastecimiento interior de agua en la ZMVM, 1990. Fuente: INEGI, 1991a.

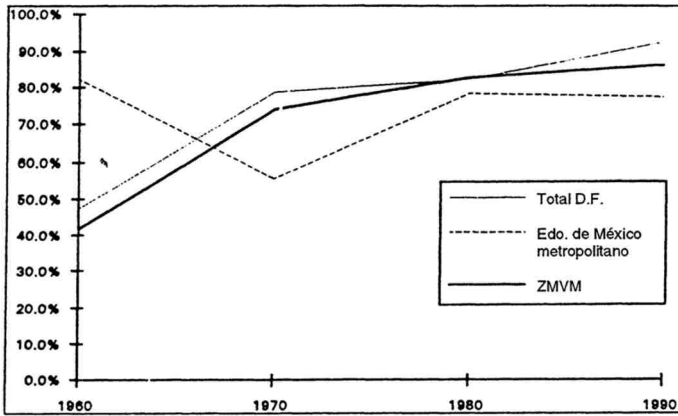
durante este periodo, en especial durante los años setenta, cuando más de 825,000 hogares fueron incorporados al sistema de abastecimiento de agua.

Durante los años ochenta, el Estado de México creció 2.5 veces más rápido que el Distrito Federal en cuanto al número de casas con servicio de agua en el interior. En términos generales, el número de casas conectadas al sistema de drenaje creció más rápido que el servicio de agua en un periodo de 30 años. La [figura 6-2a](#) ilustra el aumento continuo del porcentaje de casas con abastecimiento interior de agua, que rebasó el 70 por ciento en 1990. El avance en el Estado de México ha sido mucho menor, tanto con respecto al porcentaje de casas habitación con abastecimiento interior de agua, como en el incremento de

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.



a. Porcentaje de casas con toma domiciliaria, 1960 a 1990



b. Porcentaje de casas con conexión drenaje o fosas sépticas, 1960 a 1990

FIGURA 6.2 Variaciones porcentuales observadas durante el periodo 1960–1990 en número de hogares con abastecimiento interior de agua (a), y de aquellos conectados al drenaje o a un sistema de fosa séptica (b) en las áreas metropolitanas del Distrito Federal y del Estado de México, así como en la totalidad de la ZMVM. Fuente: INEGI, 1991a.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

éstas con el transcurso del tiempo: en 1990, sólo el 52 por ciento de los hogares tenía abastecimiento en el interior de la casa. Esto es un gran logro frente al 17 por ciento existente hacia 1960, pero representa un descenso del 62 por ciento respecto a 1980. La explicación más factible para esta situación es que el sistema de distribución de agua no pudo crecer al mismo ritmo en que creció la población del Estado de México durante los ochentas. La tendencia en el sistema de drenaje sigue un patrón similar (figura 6-2b).

En general, son pocos los datos que se tienen relativos a la provisión de otros servicios públicos para aquellos hogares de la comunidad que no reciben agua entubada. Un estudio reciente realizado por investigadores de El Colegio de México (Schteingart, 1993), encontró tendencias distintas entre sí en cuatro asentamientos irregulares (dos en el Estado de México y dos en el Distrito Federal). Según este estudio, algunos de los habitantes de estos asentamientos se abastecían de agua sin cargo alguno en camiones del gobierno, otros pagaban por una red profesionalmente instalada y con medidor, mientras que otros más pagaban una cuota fija. La cantidad y la calidad del servicio variaba en forma considerable; por ejemplo, muchos residentes de escasos recursos bebían agua embotellada o refrescos para sustituir el agua de la llave, una alternativa cara pero en su criterio más segura que la de beber el agua entubada, en la que tenían poca confianza. De ser ciertos estos datos, se puede presumir que las estadísticas oficiales con respecto a la expansión del sistema de abastecimiento de agua no reflejan estos comportamientos.

Además del tiempo y el esfuerzo involucrados en trasladar el agua a sus hogares, los habitantes de las zonas marginadas deben enfrentar costos que a menudo les resultan excesivos. Los datos sobre los precios del agua por grupo de ingresos en la ZMVM no están disponibles. Existe alguna evidencia de que el pago de las cuentas de agua no se hace cumplir con rigor y de que a menudo no se les corta el servicio a quienes no han pagado sus recibos (Comisión Nacional del Agua, 1993). Casi todos los estudios realizados en otras grandes ciudades de los países en desarrollo revelan que los gastos mensuales por concepto de agua representan un porcentaje del ingreso mayor para los pobres que para los ricos (Crane, 1994, Banco Mundial, 1992). Esto es así porque la demanda de agua representa un gasto relativamente poco elástico, y porque algunos usuarios de bajos ingresos se ven obligados a comprar el agua a intermediarios que aumentan el precio. Se recomienda un estudio posterior para entender a fondo cómo las políticas de expansión en el sistema de distribución, así como las políticas relativas a las tarifas, afectan la salud y el estatus económico de los más pobres.

El hecho de que el agua (que como se ha visto requiere inversiones para su tratamiento y bombeo) no se pague en forma adecuada, es una parte del problema; las fugas en el sistema representan la otra parte. Las pérdidas causadas por estos problemas son difíciles de cuantificar, debido a la falta de medidores. Sin embargo, las fugas por sí solas pueden llegar a ser del 40 por ciento en la

ZMVM, de acuerdo a cálculos realizados por la Comisión Nacional del Agua en 1992. Las fugas en el sistema se pueden detectar de diferentes maneras, por medio de: medición sistemática y segmento por segmento, instalando medidores en las casas habitación, actualizando los registros de las conexiones, así como mediante el mantenimiento y la renovación de las instalaciones deterioradas por el tiempo. En la ZMVM, los problemas derivados de la antigüedad de la infraestructura se agravan debido al hundimiento del suelo provocado por el bombeo excesivo del agua subterránea, así como a los daños causados por el terremoto de 1985.

Las fugas y las pérdidas incalculables de agua son problemas que empiezan a abordarse ahora en la Ciudad de México. Las autoridades del ramo han hecho de las reparaciones parte de su esfuerzo de conservación general. En el Distrito Federal se reparan mensualmente un promedio de 2000 fugas en la red de distribución, mientras que en el Estado de México la cifra por el mismo concepto es de 1,800 (Departamento del Distrito Federal, 1991a). Además, se ha hecho un esfuerzo para eliminar las fugas caseras, especialmente en los multifamiliares. Cada año son eliminadas aproximadamente 150,000 fugas en el interior de las casas, a través de los programas de la DGCOH-DDF (Departamento del Distrito Federal, 1991b). Estos programas incluyen folletos detallados que explican a los usuarios cómo detectar y reparar las fugas de agua.

INSTRUMENTOS PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA

Para aproximarse a estos problemas hay que comenzar por reconocer que el volumen de agua utilizado por diferentes personas o empresas es variable. Aunque es sabido que la cantidad de agua que se requiere para cubrir las necesidades de higiene y salud básicas es mínima, en la demanda de agua influye un gran número de factores, muchos de los cuales se encuentran bajo el control de las autoridades. Estos factores son el precio, la manera en que se cobra el uso, la confiabilidad y calidad del agua, así como las restricciones que se aplican a su utilización. Aunque el Distrito Federal tiende a elaborar sus pronósticos de uso del agua con base a un cálculo per cápita multiplicado por una línea recta de proyección del crecimiento demográfico (Departamento del Distrito Federal, 1992b), esta aproximación no proporciona una visión precisa de las conductas de uso reales en los hogares o en las empresas.

El empleo de instrumentos administrativos para controlar el consumo de agua se conoce como administración de la demanda. En contraste con las estrategias de abastecimiento que ponen énfasis en el desarrollo de nuevos suministros para tratar los problemas de escasez, la administración de la demanda está orientada a propiciar un cambio en los hábitos de los consumidores.

Los instrumentos para la administración de la demanda incluyen las políticas involuntarias (obligatorias) y las voluntarias. Las políticas obligatorias son

aquellas en cuyo establecimiento los consumidores tienen relativamente poca influencia (Frederick, 1993). Estas políticas controlan directamente el uso del agua y por lo general consisten en métodos de control, tales como el racionamiento de agua, la reparación de la tubería, nuevos códigos de construcción y normas para el reuso del agua. En 1989, el DDF inició un programa para instalar en los grandes edificios de departamentos y oficinas dispositivos para que los retretes pudieran funcionar con depósitos de 6 litros de agua (los normales usan un promedio de 16 litros). En 1991, el programa había realizado 330,000 instalaciones, con lo que se lograba un ahorro en el consumo cercano a 0.8 mcs. Se estima que para 1996 el programa habrá reducido el consumo de agua en 4.3 mcs en el Distrito Federal. El Estado de México puso en marcha recientemente un programa similar, con el que espera reducir el consumo en su área de servicio en 3.7 mcs (Departamento del Distrito Federal, 1991a).

Quizás, el medio menos utilizado para controlar el nivel del consumo de agua en la ZMVM es el empleo de instrumentos indirectos o voluntarios, como las tarifas de agua y las campañas educativas. En parte, esto puede ser reflejo de la planeación del sector orientada al abastecimiento tradicional, que ha puesto poco énfasis en lo relativo a la modificación de ciertos hábitos de uso. La experiencia ha demostrado que se pueden obtener reducciones significativas en el consumo llevando a cabo reformas muy modestas. En especial, las nuevas políticas de tarifas, así como la atención a algunos principios básicos en el manejo del precio y el cobro del agua, deberían limitar la demanda de las reservas existentes y mejorar la salud financiera del sistema.

Existen tres componentes básicos en la política administrativa de tarifas. El primer componente, tal vez el más conocido en México, es la “recuperación de costos”, o la relación directa entre los gastos y las ganancias del sistema. En un esquema ideal, la recuperación de costos debería abarcar la distribución, el desecho y los costos del tratamiento, así como otros gastos (entre ellos, los provocados por el hundimiento del suelo a causa de la sobreexplotación de los acuíferos que por lo general no son considerados como gastos del sistema y que de hecho no se toman en cuenta. En algunos casos incluso los costos de capital para las instalaciones construidas se ignoran a favor de una política de tarifas que sólo contempla los gastos de recuperación, operación y mantenimiento. Pero esta aproximación, aunque limitada, puede representar un primer paso.

El segundo componente de una política de tarifas es la demanda. La demanda se relaciona con lo que la gente está dispuesta a pagar. Véase, por ejemplo, el debate sobre la evaluación de contingencias en Whittigton, 1992; y en *Natural Resources Journal*, volumen 4(1), 1985 para medir la demanda donde no hay datos disponibles. En contraste, una necesidad no depende por lo general del costo. Si los consumidores están dispuestos o no a financiar un nuevo sistema de abastecimiento de agua, es una cuestión que puede representar un ejemplo de cómo asociar el costo a la demanda. De hecho, esta es la

pregunta central que hoy guía las políticas dirigidas a mejorar la infraestructura en los países en desarrollo: ¿está el costo justificado por la demanda?

La tercera consideración relacionada con las tarifas es la equidad, que alude a la necesidad de establecer un justo equilibrio en la distribución de los costos del agua, en hogares con ingresos diferentes. Dentro de las restricciones que la necesidad de mantener este equilibrio implica, la forma actual de establecer tarifas puede ser estructurada de muchas maneras (véase, por ejemplo, Bahl y Linn, 1992). Los usuarios podrían pagar un solo cargo para cubrir los costos que implica extender el abastecimiento de agua a su propiedad. Asimismo, podrían pagar otro por la conexión al sistema. Podrían también realizar pagos fijos periódicos relacionados con el uso del agua, pero que no varíen en relación directa a su uso (pagos establecidos, por ejemplo, de acuerdo al diámetro de la tubería), o bien efectuar pagos periódicos en base al uso real. Como se mencionó antes, el esquema de precios más común en la ZMVM, especialmente para los grandes usuarios industriales y comerciales, es un pago fijo periódico establecido con base en el diámetro de la tubería.

Junto con la política de tarifas, la educación y la conciencia pública juegan un importante papel en la conservación. Un programa público de educación bien diseñado puede lograr una reducción sustancial en la demanda de agua. Desafortunadamente, una gran cantidad de malos hábitos relacionados con el uso del agua están bien arraigados en la mayor parte de los adultos. En los años recientes, la DGCOH-DDF ha establecido una sección que vigila el uso del agua; esta sección cuenta hoy con un laboratorio que permite probar la efectividad de los dispositivos para ahorrar agua, algunas publicaciones relativas a la conservación, así como un imaginativo y dinámico programa de “detective” de agua para escolares cuarto y quinto grados de primaria, cuyo fin es enseñar a descubrir fugas. Existe un gran número de mensajes en los medios de comunicación en México que llaman a cuidar el valioso recurso del agua. En el caso de la ZMVM, aún no está claro qué tan grande ha sido el impacto de estas campañas de información. El público ya está sujeto a muchas campañas de distintas clases y los medios pueden estar saturados. Al mismo tiempo, la gente podrá comprender la naturaleza del problema del agua en la medida en que tome conciencia de la importancia de conservar este recurso.

PROBLEMAS DE EJECUCIÓN

Una cosa es hablar de la mejor manera de hacer las cosas y otra muy distinta es llevarlas a cabo. Por ejemplo, aunque elevar las tarifas del agua podría desalentar el desperdicio de agua entre muchos usuarios, esta medida no deja de tener inconvenientes. Los incentivos en los precios sólo operan cuando el uso del agua está medido y la decisión de medir o no medir es en parte un asunto administrativo. Una política de tarifas sólo será efectiva en la medida que cubra dos condiciones: (1) una administración capaz, lo cual requiere de un alto

nivel de competencia en costos, presupuestos y procedimientos de contabilidad para llevar a cabo cálculos realistas de precios y supervisar su ejecución; (2) aplicación de medidas de refuerzo adecuadas contra los infractores. Los programas más efectivos de conservación de agua de uso doméstico han combinado el alza de tarifas con campañas de información al público que refuerzan el mensaje de la necesidad de conservar, junto con la participación del público para generar el apoyo de la comunidad.

En la Ciudad de México sólo el 53 por ciento de los usuarios tiene medidor y no todos los medidores funcionan en forma adecuada. Muchos medidores leen de manera irregular; las medidas de refuerzo para efectuar los cobros de las cuentas han encontrado dificultades en el pasado. Obviamente, la falta de medidores es un impedimento tanto para la recuperación de costos como para la conservación del agua. Para conseguir una medición óptima, habría que instalar varios millones de medidores adicionales, a un costo total de N\$300 cada uno. Los medidores, junto con una tarifa basada en el volumen efectivo y en el sistema de recolección, podrían reducir sustancialmente el uso del agua, ya que los consumidores tendrían un incentivo para conservar y, en particular, para evitar el despilfarro. Además, los medidores permiten detectar de manera más sencilla las fugas del sistema.

Uso Doméstico

Cualquier discusión sobre temas relacionados con la ejecución de las políticas administrativas de uso doméstico del agua, implica considerar los conceptos de equidad y eficiencia de los servicios. Está bien documentado que, cuando ha sido necesario, las clases económicamente menos favorecidas en los países en desarrollo se han mostrado dispuestas a pagar la parte que en justicia les corresponde para un abastecimiento de agua de buena calidad (véase, por ejemplo: Okun, 1991; Banco Mundial, 1992; Whittington y Chloe, 1992; Crane, 1994). En las grandes ciudades del mundo en desarrollo, donde los habitantes de escasos recursos tienen un acceso limitado a las fuentes confiables de agua, la investigación ha documentado que las personas pagan más por el agua que otros habitantes (Roth, 1985; Banco Mundial, 1992; Whittington y Choe, 1992; Ingram et al., 1995). En la mayoría de los casos, la gente que no tiene un acceso adecuado a las fuentes públicas de abastecimiento se beneficiaría con el pago de servicios, en el caso de que éstos mejoraran sensiblemente.

Aparte de las preocupaciones relacionadas con respeto a la equidad, los obstáculos de ejecución en el sector doméstico incluyen la resistencia general a aceptar tarifas de agua por parte de quienes no tienen un sistema con medición, junto con otras dificultades prácticas asociadas con el diseño de tarifas uniformes y con el uso de los medidores. La impopularidad de establecer los precios del agua sustancialmente más altos, así como la imposición de un sistema de cobro más riguroso, son asuntos institucionales y administrativos difíciles de

resolver en el sector doméstico. En la práctica, fijar nuevas tarifas es un asunto delicado y complejo. No es necesario explicar por qué cuando a la gente se le pregunta cuánto preferiría pagar (por cualquier cosa), invariablemente responde que preferiría no pagar nada. Aún así, la mayor parte de la gente entiende que ningún sistema se puede sostener a sí mismo bajo este esquema y que algunos bienes, tal vez la mayoría, deben ser sostenidos con alguna forma de pago. Esto es cada vez más cierto respecto al aire que respiramos, por ejemplo, en la Ciudad de México y en otras partes. Para mejorar, o incluso para mantener la calidad del aire, ha sido necesario pagar más por la gasolina, manejar menos y aceptar muchos otros inconvenientes y costos adicionales. Si se le da tiempo, la idea de establecer precios que cubran los costos del agua tendrá más aceptación, particularmente una vez que la relación costo/calidad y disponibilidad del agua haya sido comprendida. La tarea consiste entonces en educar al público y a los políticos con respecto a esta relación. No hay duda de que la gente está dispuesta a pagar por un agua de mejor calidad—en muchos sentido ya lo hace, especialmente en las áreas donde el agua se distribuye de manera privada. La cuestión, entonces, es enseñar a los consumidores que tienen pocas alternativas de largo plazo para pagar el precio real del agua.

Los medidores también presentan dificultades de instalación. Por ejemplo, no es aconsejable ponerlos en todas las áreas de la ZMVM. Además del costo básico del medidor, el costo de medir es alto, pues abarca inversiones en instalación, así como el gasto de la lectura regular, mantenimiento, cobros y contabilidad (Bahl y Linn, 1992; Buenfil, 1993). Los beneficios de medir deben ser considerados junto con estos costos. Para los grandes consumidores y empresarios, medir siempre será efectivo en términos de costos. Para los pequeños consumidores de las áreas poco desarrolladas y de bajos ingresos, medir probablemente no es apropiado a corto plazo, porque muchos de los usuarios no tienen tubería en casa y usan muy poca agua.

Usuarios Industriales

La experiencia, tanto en países industrializados como en países en desarrollo, muestra por igual que las industrias tienden a utilizar el agua con una mejor relación costo-beneficio que otros sectores de la sociedad. Mientras que la industria no es un gran usuario de agua, comparada con otros sectores, sus instalaciones con frecuencia están ubicadas en las áreas urbanas, donde el consumo de agua aumenta más rápido. El precio por unidad de agua normalmente se coloca más alto para la industria que para los usuarios domésticos, por razones que por lo general tienen que ver con el financiamiento de capital—costos de infraestructura y los altos costos del tratamiento de aguas residuales industriales. Además, las industrias tienden a ser actores racionales que responden de manera expedita a los incentivos económicos y reguladores. El potencial para un uso del agua en forma más racional y con mayor efectividad

la relación costo-beneficio en el sector industrial ha sido demostrado en los hechos, tanto en los países industrializados como en aquellos que se encuentran en vías de desarrollo. En muchos casos, el costo adicional por el tratamiento de aguas residuales industriales, o la necesidad para la industria de tratar su agua residual antes de desecharla al drenaje público, es una motivación suficiente para iniciar un programa de conservación de agua.

Obstáculos Institucionales y Administrativos

Los gobiernos tienen dificultades al tratar el tema de la conservación del agua, porque se trata de un asunto que en casi todas partes tiene una fuerte carga política. La gente ve al agua como un bien esencial para la vida y muchos consideran que por esta razón las autoridades están obligadas a ofrecerla a la población sin costo, o a muy bajo costo. Por lo tanto, hace falta una gran decisión para elevar las tarifas, reforzar el sistema de distribución, instalar medidores y establecer las sanciones que permitan reducir la demanda (Banco Mundial, 1991; Bahl y Linn, 1992). Además, cuando el abastecimiento es irregular y la gente no recibe agua, o cuando la presión en el sistema es demasiado baja la mayor parte del tiempo, se generaliza una negativa a pagar los precios fijados; al no pagarse estos precios, las instalaciones carecen de los recursos necesarios para su reparación (véase, por ejemplo, Ingram et al., 1995). En consecuencia, el servicio empeora y la situación sufre un deterioro en espiral descendente.

El agua juega un papel importante en la política regional. Las regiones y las ciudades que en ellas se encuentran dependen unas de otras para crecer e invertir, por lo que se resisten a la limitación de cualquier recurso fundamental para el crecimiento, como lo es el agua. Las cifras del crecimiento de la población se exageran a menudo, con el objeto de que determinadas regiones obtengan una mayor participación del presupuesto nacional, así como mayores subsidios para el desarrollo de infraestructura—como sistemas de abastecimiento de agua, drenajes y carreteras. Dado que las inversiones fluyen a determinadas regiones a expensas de otras, lo lógico es que esta emigración ocurra hacia las regiones con mejores servicios. Ciertas regiones y ciudades se convierten en centros de poder e influencia, mientras que la importancia de otras se debilita. A pesar de estas dificultades, México lucha por revertir tendencias del pasado. El presupuesto nacional de 1992 en materia de inversiones para el sector, muestra un descenso del presupuesto federal en la ZMVM, mientras que otras ciudades y otras áreas rurales obtienen mayor atención.

En todo el mundo, las empresas municipales de agua se han dedicado a impulsar proyectos de construcción más que a la administración de la demanda (Ward, 1990; Ostrom et al., 1993). Por tradición y algunas veces por ley, a estas empresas se les pide que ofrezcan un servicio de agua lo más barato posible. Cuando las tarifas están altamente subsidiadas y el acceso a nuevas fuentes de

abastecimiento se basa en otras fuentes económicas distintas a las tarifas, el argumento de la conservación para ahorrar costos tiene poca fuerza. En México, al igual que en muchos países en desarrollo, las instancias de apoyo externo han tendido a centrarse en otorgar dinero para la construcción en la capital, pero no para la operación, el mantenimiento o la administración. La posibilidad de adoptar un programa de administración de la demanda depende de la capacidad de las instituciones responsables del abastecimiento de agua.

En la ZMVM ha existido un alto nivel de centralización de las funciones operativas y, al mismo tiempo, una separación entre las funciones operativas y las responsables de establecer las tarifas y recolectar los pagos. Por lo tanto, la eficiencia con la que la entidad encargada del agua opera no es congruente con los fines municipales. La creación en 1992 de la Comisión de Aguas del Distrito Federal tiene entre sus objetivos cambiar esos esquemas de organización (Comisión Nacional de Agua, 1992; véase el [capítulo 7](#) de este reporte).

Crecimiento de la Capacidad Instalada

Históricamente, las oficinas municipales de agua en todo el mundo han mostrado una preferencia por el desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, en lugar de procurar una modificación en los patrones de la demanda entre los usuarios. Para cambiar estos patrones se requiere de la participación a fondo de los economistas y otros científicos sociales especializados en el diseño de incentivos económicos y otros instrumentos de persuasión. A pesar de la evidente importancia de la formación en ciencias sociales para establecer estrategias de demanda de agua, muchas oficinas emplean preferentemente ingenieros. Los economistas y otros científicos sociales se emplean a menudo en los niveles medio y bajo en la jerarquía de estas dependencias por lo que tiene poca influencia en la toma de decisiones. Además, a las oficinas encargadas de la conservación se les otorgan recursos insuficientes para sostener la administración de la demanda y un nivel bajo en la organización.

La ejecución de los planes de conservación es un asunto complejo y requiere capacidad para considerar cuestiones como, por ejemplo, costos administrativos y de organización, políticas, temas ambientales, de desarrollo institucional, desarrollo de recursos humanos, organización de la comunidad, gravámenes del sector del agua, asuntos legales, manejo de la información y contratación (Okun y Lauria, 1991). Los programas de administración de la demanda afectarán a muchos grupos distintos, desde las oficinas administrativas hasta los consumidores. Los incentivos y la falta de ellos que enfrenta cada autoridad municipal del agua deben ser evaluados. Los incentivos incluyen el aumento de la capacidad de abastecimiento y, por lo tanto, la reducción de la inversión y los costos de operación. La posible falta de incentivos se debe a la disminución de las ganancias, la necesidad de ajustes más frecuentes a la tarifa y a la creciente dificultad para prever la demanda futura. Los efectos que

cualquier estrategia de conservación pudieran tener en las dependencias locales encargadas del agua, especialmente las formuladas en los niveles más altos del gobierno, deben estar correctamente orientadas si se espera que estas dependencias acepten el concepto y la práctica de una mayor eficiencia en el uso del agua.

Una adecuada relación costo-beneficio, también requiere de capacidad técnica y administrativa para operar un sistema de tarifas en forma eficiente (Bahl y Linn, 1992; Ostrom, et al., 1993). Esto requiere de una medición razonablemente exacta del abastecimiento de agua para cada consumidor. Entonces, la instalación inicial de los medidores debe estar respaldada por un sistema adecuado de mantenimiento y reparación (incluyendo la recalibración de los medidores a intervalos apropiados). La lectura de los medidores debe también realizarse a intervalos claramente definidos. La administración de las cuentas y el envío de recibos deben realizarse con el menor retraso posible después de la lectura del medidor. Por último, es necesario obligar a que el pago de las cuentas se lleve a cabo en un tiempo razonable, estableciendo sanciones definidas para quien pague con retraso. El desarrollo de la capacidad administrativa y técnica debe acompañarse de innovaciones políticas, como la revisión de las tarifas, para obtener los resultados deseados.

Aquí vale la pena insistir en dos puntos. Primero, en que las oficinas de conservación deben recibir los recursos necesarios para que operen en forma efectiva, incluyendo los fondos para atraer personal calificado, especialmente de quienes están titulados en áreas pertenecientes a las ciencias sociales. Los científicos sociales tenderán a orientar las políticas relativas al agua menos hacia el control y más hacia la administración de la demanda, puesto que se les asignará un nivel jerárquico adecuado dentro de la organización. Segundo, para poder llevar a cabo los programas de administración de la demanda por encima de otros intereses creados, las oficinas de conservación del agua deben tener asignado un alto nivel dentro del departamento de aguas y otras oficinas municipales de la ZMVM. Este nivel jerárquico dependerá, en parte, de la capacidad y profesionalismo del personal de la oficina de conservación.²

Se ha demostrado repetidas veces que, incluso con los programas más simples de conservación del agua, el uso de la misma se puede reducir de 20 a 30 por ciento sin afectar sustancialmente el bienestar de los habitantes o de los negocios, introduciendo incentivos de conservación o tecnología que genere los mismos servicios de agua con menores costos (Martin et al., 1980; Shaw et al., 1992). Simplemente, el hecho de medir el uso del agua de manera más amplia los reducirá de manera efectiva, particularmente si esta medida se acompaña de

² Mucho se ha escrito sobre el tema de la medición y el agua no calculada. El lector interesado se puede dirigir a las publicaciones sobre el tema de la "American Water Works Association, Denver, Colorado."

una adecuada estructura de precios—por ejemplo, una tarifa en bloque que aumente en forma paulatina. Sin embargo, la capacidad institucional adecuada es un prerequisite para el éxito. La Ciudad de México puede obtener ahorros como los señalados si se pone suficiente atención en el establecimiento adecuado de estrategias para la administración de la demanda. Por supuesto, las políticas de conservación del agua deben ser diseñadas para un contexto específico y los programas que tuvieron éxito en otras partes pueden no resultar apropiados para la ZMVM.

El DDF ha puesto en marcha un ambicioso programa para reducir la demanda de agua en una comunidad, a través de la instalación de implementos para ahorrar agua, como retretes y regaderas de bajo flujo. En los años recientes, las autoridades del agua de la ZMVM han establecido metas para una mejor administración de la demanda y han dado pasos importantes hacia la consecución de las mismas. Se llevó a cabo una reorganización para descentralizar e integrar mejor las funciones, fueron modificadas las estructuras de las tarifas y, lo que es tal vez más importante, se intentó enfrentar el crecimiento urbano, problema que ha originado muchos de los problemas relativos al agua. En el documento titulado *Agua 2000*, el jefe del Departamento del Distrito Federal dio reconocimiento oficial a la necesidad de controlar el crecimiento y llevar a la población fuera de las áreas de recarga y hacia las áreas donde existe infraestructura (Departamento del Distrito Federal, 1991a). Además, se ha reconocido la necesidad de modificar algunos conceptos muy difundidos entre la población relacionados con el agua.

Estos son pasos que apuntan en la dirección correcta, pero la importancia de una reforma posterior es clara. Los costos de utilizar agua en la ZMVM se han elevado agudamente en los años recientes y continuarán en aumento, ya que la demanda promete sobrepasar las reservas en poco tiempo.

7

Aspectos Institucionales

En México, el uso del agua ha estado unido históricamente a la idea de que, por ser propiedad del Estado, se trata de un recurso cuyo aprovechamiento debe ser un derecho constitucional gratuito para cada ciudadano. Este concepto proviene de las reformas a la tenencia de la tierra establecidas en el artículo 27 de la Constitución Política Mexicana de 1917. Desde 1988, México ha pasado por un proceso intenso de modificaciones a las leyes que norman la distribución del agua y que regulan su calidad. Hoy, las reformas recientes promueven el establecimiento de derechos privados sobre el uso del agua que permitan que se privatice la administración de los servicios de abastecimiento y drenaje, incorporando algunos principios nuevos, como la necesidad de conducir un análisis de costo-beneficio en la aplicación de las normas regulatorias. Se ha establecido un nuevo cargo, el de Procurador Federal del Medio Ambiente, hecho que apoya bien la idea de que el cuidado del medio ambiente también merece representación en el gobierno. Asimismo, se ha puesto mayor énfasis en varias medidas para la conservación del agua, incluidas las relativas a su reuso. Estos cambios han creado una atmósfera que hoy permite que las leyes y reglamentos relativos al agua puedan ser reformados de manera más ágil y más racional que en el pasado.

En este capítulo se aborda el tema de las instituciones encargadas de administrar la distribución del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), así como el de las instituciones responsables de la calidad del agua. La información sobre el desarrollo de estas instituciones en la ZMVM no ha sido publicada. Para obtenerla, el Comité ha establecido comunicación directa

con las autoridades responsables y se ha basado en el material que le proporcionaron la Comisión Nacional del Agua, la Secretaría de Salud, la Suprema Corte de Justicia de la Nación, la Secretaría de Desarrollo Social (antes Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología), el Departamento del Distrito Federal y la Comisión de Aguas del Distrito Federal.

INSTITUCIONES RESPONSABLES DE LA CANTIDAD DE AGUA

En México, el poder institucional está depositado, con una carga mayor que en otros países, en el presidente de la República y en las Secretarías de Estado. De acuerdo con el artículo 27 de la Constitución, el Presidente tiene el poder de regular la extracción y el uso de las aguas nacionales, de establecer áreas en las que el agua no puede ser extraída y, a través de sus representantes designados, el de establecer reglas para la expedición de permisos de uso del agua bajo los términos dictados por las leyes que autoriza el Congreso.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SAHR) es la dependencia más importante relacionada con la distribución del agua. La Comisión Nacional del Agua fue creada por el Congreso para llevar a cabo las tareas de distribución. La Comisión, que integra consejeros de otras secretarías, está dividida en cinco subdirecciones: 1) Planeación y Finanzas; 2) Infraestructura Hidroagrícola; 3) Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial; 4) Investigación (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA) y 5) Administración del Agua. Esta última subdirección es la responsable de elaborar y ordenar los registros, otorgar permisos y, en general, de todo el proceso de distribución del agua desde el punto de vista administrativo.

La Comisión mantiene seis oficinas regionales, cada una representada por un administrador regional nombrado por el director de la propia Comisión. La Cuenca de México es una región de la que forman parte el Distrito Federal, y en forma parcial el Estado de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Morelos (figura 2.1). Cada uno de estos estados tiene un director regional estatal; sin embargo, estos directores estatales regionales, aunque no dejan de ser importantes, no tienen la capacidad de decisión necesaria, debido al tremendo poder financiero e institucional que el Distrito Federal ejerce al amparo de una ley especial para la distribución del agua en el DF. En la Zona Metropolitana del Valle de México, las instituciones gubernamentales clave son el Departamento del Distrito Federal (DDF), la Comisión Nacional del Agua (CNA)—debido al número de pozos en el área y a las importaciones de agua desde otras cuencas—y la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento (CEAS) del Estado de México. El Distrito Federal no es un estado, sino una entidad del gobierno federal, regulado a través de una legislación especial. De acuerdo con esta legislación, el regente del Distrito Federal es nombrado por el Presidente. Institucional y política

mente, el Distrito Federal tiene mayor influencia que el Estado de México en la ZMVM.

En el Distrito Federal, tanto la distribución de agua como la infraestructura que para este fin se requiere están bajo el control de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH). La recolección de pagos, medidores y servicio está a cargo, en forma independiente, de la Tesorería del Distrito Federal.

En la porción de la Cuenca de México que está bajo la jurisdicción del Estado de México, la Comisión Nacional del Agua envía el agua en bloque a la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento. Esta dependencia estatal es la responsable de recibir el agua, tratarla y distribuirla a varios municipios del estado. Los estados y municipalidades deben solicitar a la Comisión Nacional del Agua los permisos necesarios para extraer agua subterránea. Al igual que las oficinas públicas, las compañías privadas están reguladas y autorizadas por la Comisión Nacional del Agua para la distribución, extracción o comercialización del agua.

Las acciones compartidas entre el Estado de México y el Distrito Federal en la ZMVM son, sorprendentemente, muy pocas. Aunque guardan relaciones cordiales, tienen dos infraestructuras del todo separadas y distintas. Así, pudiera llegar a suceder que en dos banquetas opuestas de una misma calle se encuentren dos líneas de agua independientes, una estatal y otra federal.

A diferencia de la entidades estatales, las instancias federales reciben muy escasos fondos directos y deben apoyarse en las tarifas para sustentar su operación. Cuando los usuarios no pagan sus cuentas, lo que sucede a menudo, debido a las razones expuestas en el [capítulo 6](#), es que los estados no pueden pagar a la Comisión Nacional del Agua su participación en la infraestructura general. Así, cada año se discute ampliamente a cuánto ascenderá el subsidio que debe otorgar la Comisión Nacional del Agua, ya que las entidades del estado por lo general no han podido pagar sus cuentas. En respuesta a este problema, un gran número de medidas (las cuales se discutirán más abajo) se llevan a cabo para proteger el acuífero y conservar el agua con un sistema más eficiente. Los arreglos institucionales para la distribución del agua en los estados de Hidalgo, Puebla, y Tlaxcala (fuera de la ZMVM) son similares a los que rigen para el Estado de México

Nueva Estrategia Para el Distrito Federal

Mediante decreto de privatización expedido en julio de 1992, se creó la nueva Comisión de Aguas del Distrito Federal, con el fin de mejorar administrativamente la distribución pública de agua potable y los servicios de drenaje, tratamiento y reuso de aguas residuales. En un esfuerzo orientado a la modernización, el decreto otorga a esta Comisión facultades para privatizar la administración y la operación del servicio de agua en el Distrito Federal. El gobierno

espera que este proceso promueva una nueva perspectiva cultural, que ilustre a la ciudadanía respecto al hecho de que el agua del Distrito Federal es un recurso limitado por cuyo servicio los habitantes del área deben pagar.

Bajo el nuevo decreto, la oficina de aguas existente mantiene el control de las obras principales, como el canal de transmisión construido alrededor de la Ciudad de México, pero la nueva comisión se encargará de las áreas de abastecimiento, tratamiento, drenaje y tratamiento de aguas residuales.

En octubre de 1992, el Departamento del Distrito Federal solicitó cotizaciones de compañías privadas para la administración de la distribución y el cobro de pagos en el DF. Se firmaron contratos con las compañías ganadoras, los cuales fueron planteados en tres etapas. La primera es una actualización de los registros de los usuarios y la instalación de medidores. La segunda consistirá en el cobro a los consumidores, bajo el sistema de uso medido. La tercera etapa consistirá en el mantenimiento y reparación del sistema de distribución por parte de las propias empresas privadas. En las dos primeras etapas el contratista será remunerado por tareas específicas, como instalar medidores o expedir cobros. Sin embargo, en la etapa final la ciudad venderá el agua en bloque a los contratistas, mientras que las compañías, a su vez, venderán el agua a los consumidores finales. El gobierno establecerá un esquema preliminar de tarifas de agua, que puede variar para cada una de las cuatro zonas de servicio, de acuerdo a sus características demográficas. Eventualmente, la ciudad basará el establecimiento de las tarifas de agua en el promedio total por unidad de volumen de agua proporcionada a los contratistas. En este punto, las compañías privadas se encargarán de operar y mantener el sistema de distribución de agua bajo dos premisas naturales: (1) perderán ganancias si no cobran las cuotas; (2) incurrirán en costos por fugas. El precio en que se venda el agua a los contratistas será determinado tras un periodo de operación, bajo un sistema de "cuota por tarea", cuyo objetivo es reducir la incertidumbre tanto para los ciudadanos como para los contratistas.

Una característica distintiva de este esquema es la división del DF en cuatro "zonas" con diferente número de usuarios; cuatro compañías distintas ganaron el contrato de servicio para cada zona. Existen, pues, cuatro empresas en operación para esta etapa de acuerdos iniciales. Hasta el momento, se ha otorgado contrato a un consorcio de compañías mexicanas y a tres transnacionales: una francesa, una estadounidense y una británica.

El Departamento del Distrito Federal (DDF) calcula ahora que este sistema de cobro y medida reducirá las necesidades de agua en la ciudad entre el 30 y el 40 por ciento, en parte a través de la reparación de fugas y en parte como consecuencia del menor consumo que se espera resulte del incremento en las tarifas. Este desplazamiento hacia la privatización tiene algunos precedentes. El gobierno mexicano ha privatizado más de 1000 empresas públicas y de servicios, incluyendo al menos dos plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal. La participación de la industria privada ha alcanzado ya a las

aerolíneas y las telecomunicaciones, así como la construcción de carreteras y bancos.

Mientras avanza la iniciativa de privatización para el envío de agua en el Distrito Federal, la Comisión Nacional del Agua, la Comisión de Aguas de la Ciudad de México, el Departamento del Distrito Federal y las nuevas compañías privadas que se encarguen de administrar la distribución, tendrán que coordinarse y cooperar. Es a nivel nacional como los permisos y el agua en bloque se reparten a los distribuidores locales. Surgirán cuestiones difíciles, como las relativas a quién asumirá el costo de construcción de la infraestructura, o a la manera como se establecerán las tarifas y las medidas prácticas para lograr una mayor eficiencia en el uso y la distribución del agua.

Nueva Ley Federal de Derechos de Agua

El 1° de diciembre de 1992 se publicó en México una nueva ley que cambió por completo el método de distribución del agua subterránea en México. La nueva ley establece que, en términos hidrológicos, una cuenca puede ser privatizada en su totalidad. Privatizar en su totalidad una cuenca no significa que alguien pueda llegar, hacer un pozo y conseguir un nuevo derecho de agua. Más bien, representa la posibilidad que alguien intercambie los derechos de un usuario existente, para crear así un mercado de derechos del agua. La efectividad de esta ley depende de que se conozca la cantidad de agua que empleaba el usuario anterior, asunto que se enfrenta con el problema de las carencias existentes en materia de medición. Aun así, se puede establecer una cantidad permitida de agua, con base en investigaciones hidrológicas y otros métodos. Esta ley también se aplica a los abastecimientos de agua potable. Antes de diciembre de 1992, cualquier proveedor de agua potable no tenía más que hacer una solicitud para obtener un permiso de pozo. Ahora, el aspirante debe comprar los permisos de otros usuarios. Esta nueva ley deberá ser útil para controlar las extracciones de agua subterránea en áreas altamente explotadas, pues limita la disponibilidad de los permisos.

La ley aborda de una manera muy vaga el tema de los daños a terceros, aunque no existen reglamentos que le den sentido a esta situación. En cuanto a la interferencia de pozos, la vieja ley prohibía que se colocara un pozo a menos de 500 metros de otro. Con la nueva ley, los cálculos variarán dependiendo de los coeficientes del acuífero. También serán importantes las medidas relativas al registro de permisos, verificación y monitoreo.

Consejos Regionales de Planeación del Agua

Un cambio significativo en la nueva ley nacional del agua es el relacionado a la creación de consejos regionales en las cuencas, que tienen la función de ayudar a definir el abastecimiento general de agua y a proporcionar la infraestructura para el manejo del agua superficial y subterránea, a la adminis

tración local. Los consejos son designados para trabajar con la Comisión Nacional del Agua y las comisiones estatales de agua para establecer prioridades de uso, promover la conservación y representar a los distintos grupos de usuarios en la región. La Cuenca de México es considerada como una región independiente y en el futuro se establecerá un consejo especial para ella.

Los distritos de riego locales y las cooperativas agrarias representan un rico precedente histórico para el desarrollo de estos consejos regionales de las cuencas. Los grupos locales de planeación han empezado ya a dar frutos en la cuenca Lerma-Chapala, donde distintos grupos públicos y privados trabajan para desarrollar planes más eficientes y un uso equitativo de este recurso finito.

El DDF, a través de estrategias de educación y promoción, intenta hacer conscientes a los usuarios de que para obtener un mejor servicio es necesario el pago por agua medida, a precios que reflejen su verdadero costo. Al pagar un precio mayor, el público demandará mayor participación en las decisiones relacionadas con la justa distribución del agua y podrá obtener la seguridad de que los costos se distribuyan de manera justa. Los nuevos Consejos Regionales de Agua representan un importante avance institucional, ya que los usuarios tendrán voz en estos foros. Los consejos serán un espacio de debate abierto sobre diversos temas, como el precio del agua, los derechos de uso, las medidas de conservación y el desarrollo de infraestructura.

INSTITUCIONES RESPONSABLES DE LA CALIDAD DEL AGUA

La institución nacional para la protección del medio ambiente, la Secretaría de Desarrollo Social, tiene amplias facultades. La Comisión Nacional del Agua y la Secretaría de Salud han visto ampliadas también sus facultades gracias a las nuevas reformas legales. Debido al predominio de estas instituciones federales, las oficinas de salud locales o estatales tienen poca responsabilidad en la vigilancia de la calidad del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México. Desafortunadamente, estas oficinas federales de salud tienen una jurisdicción poco definida y reglamentos inconsistentes que hacen difícil desarrollar una legislación más completa con respecto al agua, como lo manda la Ley General de Equilibrio Ecológico de 1988. Aunque la ley de 1988 anunciaba un plan muy extenso para proteger el ambiente, este plan sólo se ha llevado a cabo en áreas donde las crisis han obligado a actuar (véase U.S. Government Accounting Office, 1991, y U.S. Mexico trade, Information on Environmental Regulation and Enforcement, mayo 1991). Hoy se aplican, mientras se promulgan nuevos reglamentos, los establecidos por la ley de Protección de los Recursos del Agua de 1971.

La nueva Ley Federal Sobre Metrología y Normalización del 1° de julio de 1992 y la nueva posición del Procurador Federal del Medio Ambiente representan reformas significativas. El Procurador Federal del Medio Ambiente tiene

facultades para obligar a las empresas privadas y paraestatales a cumplir las normas gubernamentales de protección ambiental. El procurador federal opera al margen del aparato burocrático, hecho que podría servirle para atraer la atención a nivel nacional hacia a los problemas relacionados con la seria degradación ambiental, incluyendo el tema de la calidad del agua en la ZMVM. Esto podría propiciar que se establecieran en todo el país reglamentos más amplios para enfrentar los problemas actuales y futuros.

La Ley Federal Sobre Metrología y Normalización obliga a emplear análisis de costo-beneficio para establecer nuevos reglamentos; asimismo, requiere que se investiguen las soluciones no reglamentadas dictadas por el mercado. Esta ley es significativa porque atrae a epidemiólogos y a todos aquellos que se arriesgan a hacer el análisis y a debatirlo con las instituciones que alientan el desarrollo económico. El análisis de costo-beneficio también podría influir en las futuras decisiones sobre normas y reglamentos relacionados con la vida del acuífero a largo plazo.

La Ley General de Salud del 7 de febrero de 1984 (enmendada en 1988) da a la Secretaría de Salud jurisdicción sobre distintos temas relativos a la calidad del agua potable. La ley impone normas para el agua potable, que incluyen niveles máximos de contaminantes y la eliminación de bacterias. La ley también enfrenta los problemas de la distribución del agua y autoriza a la Secretaría de Salud a que regule la calidad del agua en toda la infraestructura pública y privada de distribución. Asimismo, se ocupa del tratamiento de aguas residuales y prohíbe su descarga en áreas donde se extrae agua potable. Virtualmente todos los estados acatan las normas y requerimientos de la ley de 1984, al igual que los sistemas municipales. Aunque la Secretaría de Salud impone estas normas, los reglamentos son puestos en práctica por la Secretaría de Desarrollo Social y la Comisión Nacional del Agua.

Otra medida importante para mejorar la calidad del agua es la aplicación de un nuevo impuesto para el uso y el desecho de este recurso. Aunque se le llama impuesto, funciona como una cuota de permiso para generar ingresos que protejan los recursos del agua. Un impuesto paralelo por desecho de aguas residuales se ha establecido para sancionar a quienes contaminan, con una severa multa a quienes regresan aguas residuales sin tratar al sistema de drenaje. Así el impuesto propiciará un uso más eficiente del agua y generará fondos para el gobierno. El impuesto por aguas residuales afectará claramente a los usuarios industriales que obtienen su propia agua. No se ha definido con claridad el método que emplarán los municipios o el DDF para cobrar a los usuarios este impuesto. La aplicación de este impuesto influirá también en las decisiones comerciales para el desarrollo de proyectos, especialmente si se aplica de manera diferenciada, dentro y fuera de las áreas de servicio municipal.

8

Conclusiones y Recomendaciones

La Ciudad de México, centro cultural, económico e industrial de la nación, ha crecido de manera incesante y a menudo incontrolada. Aunque el subsidio que a través de la historia se ha otorgado al servicio de agua ha impulsado el desarrollo económico, también ha limitado las posibilidades gubernamentales de expandir la red, tratar el agua y mejorar el drenaje, así como financiar las reparaciones del sistema. Recientemente, las autoridades mexicanas han intentado establecer una administración más eficiente del abastecimiento de agua en la región. Revertir las tendencias anteriores e implantar nuevas estrategias de conservación será difícil. El reto para quienes se encarguen en el futuro de tomar decisiones en la Ciudad de México será lograr un equilibrio justo entre la necesidad de obtener nuevas fuentes de agua y lograr un manejo más cuidadoso de las fuentes existentes.

Por esta razón, es necesario prestar más atención al control de la demanda de agua, a través del establecimiento de nuevos mecanismos de precios, así como de programas educativos enfocados a la conservación y el reuso. Aquí se ofrecen varias recomendaciones de distinta naturaleza, relacionadas con diversos temas: la necesidad de tener una mayor conciencia respecto a los problemas de la hidrología regional; el reuso del agua residual recuperada; la protección de la calidad de los recursos existentes; la forma de lograr una mayor eficiencia en el uso y los cambios institucionales que permitan un mejor abastecimiento de agua. Todas estas recomendaciones han sido diseñadas con el objeto de mejorar el sistema existente. Tienen también el fin de orientar a quienes se encargen de aplicar las políticas destinadas a mejorar la cantidad y calidad del agua en la

Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). No se presentan en orden de importancia, pues se considera que todas ellas son igualmente prioritarias y que deben tenerse presentes, antes de considerar cualquier tipo de desarrollo en las fuentes de abastecimiento. La ejecución exitosa de estos conceptos podría reforzar la sustentabilidad del abasto de agua en la ciudad de México durante muchas décadas.

TEMA: USO CONTINUO DEL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Aunque la cantidad de agua subterránea almacenada en la porción sur de la Cuenca de México esta estimada entre 240 y 350 veces la extracción normal anual, la vida del acuífero no se puede predecir de manera confiable. La sobreexplotación continua ha causado problemas de hundimientos e incrementado la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación. La información disponible sobre las propiedades geológicas y químicas del acuífero a profundidades mayores que las del bombeo normal, es limitada. La hidrogeología de la porción sur de la Cuenca de México está mejor estudiada. En cambio, se sabe menos respecto a la disponibilidad y la calidad de las reservas de agua existentes al norte de la Sierra de Guadalupe. Aun así, los estudios realizados en la parte sur de la cuenca han carecido de continuidad y congruencia. Los datos utilizados en los modelos de predicción no son muy confiables—y las consecuencias de un error en la predicción pueden ser graves en la planeación a largo plazo. Se requeriría de una información más completa respecto a las cifras de extracción del acuífero, los parámetros hidrológicos relevantes, la vulnerabilidad a la contaminación, así como de una identificación de los niveles de agua críticos—debajo de los cuales ya no sería eficiente el bombeo continuo—, para predecir de manera más confiable la vida del acuífero. Más aún, el desarrollo de las cifras apropiadas de extracción de agua subterránea debería basarse en factores sociales, en datos económicos relativos al desarrollo, en la problemática de la distribución del agua, en la influencia de las medidas de conservación y administración de la demanda, así como en las políticas gubernamentales. Aunque este reporte no ha examinado temas sustanciales del desarrollo urbano y regional, es claro que la planeación de los recursos del agua debería anticipar las cifras y los impactos del crecimiento, no sólo en la Zona Metropolitana del Valle de México, sino en toda la Cuenca de México y en las cuencas vecinas.

Recomendación: Desarrollar un programa de investigación a largo plazo, para determinar las características hidrológicas, fisicoquímicas y biológicas de los acuíferos de la Cuenca de México. Es necesario llevar a cabo un programa coordinado de investigación a largo plazo para sustentar un control sostenido del sistema acuífero de la Cuenca de México. Este programa debe insistir en que la investigación se desarrolle en forma sostenida; su direc

ción podría encomendarse a un comité de asesores formado por representantes técnicos de todas las partes afectadas con jurisdicción en el área. El programa debería involucrar a todas las instituciones que regulan el uso del acuífero, para incluir así diferentes puntos de vista—ambientales, de desarrollo, de salud, culturales y científicos.

La investigación a largo plazo debe observar el grosor, la amplitud y la profundidad del acuífero; debe también determinar cálculos más confiables de porosidad, permeabilidad, capacidad de almacenamiento y conductividad hidráulica de los acuíferos. Otros factores importantes que un estudio de esta naturaleza debe incluir son: (1) los cambios en la calidad del agua según su profundidad y su situación geográfica, así como su relación con el surgimiento de campos de pozos; (2) el grado de conexión hidráulica entre las distintas zonas del acuífero y las zonas de recarga; (3) la extensión y situación de fallas geológicas y otros factores comunes en los acuíferos que sean importantes para una óptima ubicación de pozos; (4) la caracterización fisicoquímica y biológica de los acuíferos.

Estos estudios deben llevarse a cabo con las mejores metodologías científicas disponibles e incluir un sistema de monitoreo en pozos, el uso de sensores remotos y fotografías aéreas para hacer mapas y tener una mejor comprensión del comportamiento de las zonas de recarga y las consecuencias del hundimiento, así como el desarrollo de un sistema de información geográfica para integrar las características de la superficie, la infraestructura y las actividades de riesgo en un mapa común.

Recomendación: Es necesario determinar el rendimiento óptimo del acuífero de la Ciudad de México. Después de entender las características del acuífero con algún nivel de confianza, sería conveniente reunir un grupo interdisciplinario con representantes de las diversas instituciones, para determinar el rendimiento óptimo del acuífero de la Ciudad de México sobre la base de una evaluación de objetivos múltiples. Sería útil comprometer en este análisis al mismo consejo de asesores que dirija el programa de investigación a largo plazo. Determinar este rendimiento óptimo dependerá, mínimamente, de una serie de factores interdependientes:

- la dependencia económica de la región, de los recursos de agua subterránea;
- el deterioro de la calidad del agua conforme aumenta la profundidad del acuífero;
- los impactos normales de la contaminación considerando las fuentes de donde proviene;
- la disponibilidad y el costo real de obtener y distribuir nuevas fuentes de agua;
- un análisis del uso del agua;

- la influencia y el potencial de los programas de medición, tarifas, conservación y reuso del agua, así como los de recarga del agua subterránea;
- el impacto del uso del agua en otros aspectos relacionados con el medio ambiente;
- la disponibilidad de cálculos más aproximados sobre la vida potencial a largo plazo del acuífero tomando en cuenta las distintas tasas de extracción—cálculos que pueden realizarse con base en las consideraciones arriba expuestas.

TEMA: EJECUCIÓN DE LOS PROYECTOS DE REUSO DEL AGUA

La descarga de aguas residuales en la ZMVM se estima en 44.4 mcs, o el equivalente al 74 por ciento del uso total del agua. La mayor parte de las aguas residuales dejan la Cuenca de México. En consecuencia, hay un potencial muy grande para el desarrollo futuro de los programas de reuso y conservar el agua actualmente en uso para otros fines que demanden agua de mejor calidad.

Algunos programas de reuso de agua se iniciaron en la ZMVM hace pocos años, incluyendo los relativos a la recarga del acuífero con agua de lluvia y aguas residuales municipales recuperadas, así como los relacionados con el reuso y reciclaje industrial del agua residual tratada. Mientras que algunos tipos de reuso industrial, como la usada durante el proceso de enfriamiento en las plantas generadoras de electricidad, se llevan a cabo sin tratamiento excesivo, la mayor parte de las actividades relacionadas con el reuso requerirán de algún nivel de tratamiento para reducir los agentes patógenos y otros contaminantes. En el Distrito Federal, el pretratamiento industrial del agua residual ha sido ordenado por los nuevos reglamentos que entraron en vigor en 1990; sin embargo, poco se sabe acerca de la efectividad del programa establecido.

Recomendación: El uso del agua residual recuperada y tratada tiene un gran potencial, por lo que convendría orientarlo cada vez más hacia el abastecimiento urbano e industrial, incluyendo la irrigación del paisaje urbano, la irrigación agrícola y la recarga del acuífero. El agua residual recuperada y tratada debería destinarse a cubrir áreas y propósitos específicos en la ZMVM. Debe continuarse la realización de estudios relativos a la viabilidad de su reuso agrícola e industrial. También convendría llevar a cabo acciones dirigidas a dotar de infraestructura a los nuevos desarrollos urbanos (por ejemplo, de sistemas de distribución dual y sistenas de conducción de bajo flujo) para utilizar agua recuperada en el funcionamiento de los inodoros y el aire acondicionado de los edificios altos, así como para irrigar las nuevas áreas del paisaje urbano. Estas acciones, cuando se realizan en la etapa de construcción, resultan más económicas que cuando se adaptan después de que las obras han sido ya terminadas. Será necesario poner en marcha programas de pretra

tamiento industrial, para el tratamiento efectivo de aguas residuales, como un requisito previo al desarrollo de la recarga artificial del acuífero u otros proyectos de recuperación de agua. Para que los programas de reuso resulten seguros y efectivos, toda el agua residual municipal debe recibir el tratamiento adecuado antes de ser liberada.

TEMA: VULNERABILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA A LA CONTAMINACIÓN

Los desechos de agua a través de canales descubiertos y no revestidos, las líneas de desagüe dañadas, el agua doméstica e industrial sin tratar, la falta de control sobre materiales peligrosos y diversas actividades humanas provocan que el acuífero sea vulnerable a la contaminación. Las zonas montañosas y de transición son áreas particularmente importantes debido a su alta permeabilidad. La zona lacustre, considerada como una capa de arcilla impermeable bajo la Zona Metropolitana del Valle de México, es igualmente vulnerable, como se deduce de las investigaciones más recientes, las cuales sugieren que en esta región hay riesgos de que ocurran desplazamientos de agentes contaminantes hacia la parte inferior.

Recomendación: Poner en marcha un programa ordenado y extensivo de monitoreo y protección del agua. Este programa debe abarcar varios aspectos: la identificación y el mapeo de las áreas vulnerables en la Zona Metropolitana del Valle de México; el análisis del tipo de asentamientos humanos del área; la localización de los pozos de producción; la localización de pozos abandonados; el tipo de servicios de drenaje que se proporcionan; el tipo de industrias en el área; los diversos métodos empleados para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales; la identificación de otras actividades que contribuyan a la contaminación del agua subterránea. Evaluar el impacto de tales actividades en los pozos de producción cercanos debe ser considerada como la más alta prioridad. La experiencia ha demostrado muchas veces que las inversiones realizadas para proteger el agua subterránea son más efectivas que las de restauración de las fuentes. De hecho, después de que una fuente ha sido contaminada, no siempre es viable conseguir que en el futuro el agua de ese lugar resulte segura para beber.

Las opciones para proteger el abastecimiento de agua pueden abarcar diferentes acciones: las restricciones a las descargas industriales; medidas para contener los desechos peligrosos; la instalación de servicios de agua y de drenaje en los lugares donde se carece de ellos; el desarrollo de programas de protección a pie de pozo; la clausura y relocalización de pozos. Se requiere llevar a cabo una investigación posterior en las áreas de transición y en las zonas lacustres, para caracterizar de manera más exacta la vulnerabilidad del acuífero.

TEMA: EFECTOS DE LOS AGENTES PATÓGENOS EN LA SALUD

El sistema de distribución de agua potable es vulnerable a la contaminación por gérmenes patógenos. Los estudios realizados indican la presencia de organismos patógenos en tomas domiciliarias, cisternas domésticas y otras fuentes del sistema, aunque los estudios disponibles no señalan el origen del problema. El sistema de distribución de agua es viejo y tiene fugas, en parte debidas a los efectos del hundimiento del suelo. Las fugas, combinadas con las interrupciones del sistema y los periodos de variaciones en la presión, hacen que el sistema sea susceptible a la infiltración de contaminantes desde el subsuelo, que a su vez está contaminado por las cañerías con filtraciones, descargas de las fosas sépticas y el desbordamiento de las líneas de drenaje.

Buena parte del sistema de desagüe consiste en canales descubiertos y no revestidos así como zanjas de drenaje. El agua residual en la Zona Metropolitana del Valle de México no recibe tratamiento antes de ser desechada (el 10 por ciento que sí lo recibe se destina a proyectos de reuso). Por lo tanto, un gran flujo de aguas negras circula por esos canales descubiertos, lo cual propicia un alto riesgo de exposición a los organismos patógenos y parásitos, con la consecuente probabilidad de que se transmitan enfermedades. Otro problema similar es la ubicación de algunos pozos de agua potable en áreas adyacentes a los canales de desagüe.

Las enfermedades infecciosas intestinales, en especial la diarrea aguda, son una de las causas principales de mortandad infantil en la Zona Metropolitana del Valle de México. El creciente uso de la rehidratación oral ha contribuido a que disminuya el número de muertes provocadas por estas enfermedades, aunque la rehidratación oral no ataca las causas de las infecciones—como lo es la exposición al agua contaminada.

Recomendación: Deben tener alta prioridad el tratamiento de las aguas residuales antes de desecharlas así como incrementar la vigilancia de la salud pública. Es necesario ampliar y mejorar las plantas de tratamiento de aguas residuales, para manejar mayores volúmenes. De igual forma, se requiere poner mayor atención en el tratamiento de aguas residuales con propósitos de desecho y recuperación, así como dar prioridad a las áreas donde se presentan con mayor frecuencia las enfermedades intestinales infecciosas. Se sugiere desarrollar un programa de monitoreo sistemático, para recolectar los datos apropiados y llevar a cabo los estudios epidemiológicos necesarios, que permitan determinar el origen de estos problemas, además de evaluar el potencial de contaminación. También se requiere de un frecuente monitoreo en las plantas de agua embotellada y las albercas públicas. Los currícula de las escuelas de medicina deberían incluir entrenamientos en salud ambiental y en los efectos de sustancias tóxicas, con el objeto de preparar a los médicos para diagnosticar y

documentar las enfermedades que se generan en el agua. El sistema de distribución debe mantener una presión continua y un nivel residual de desinfectantes.

TEMA: REGLAMENTACIÓN Y MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Existen tres instituciones encargadas de determinar la calidad del agua en México: la Secretaría de Desarrollo Social, la Secretaría de Salud y la Comisión Nacional del Agua. A la fecha, se han tenido dificultades para establecer una gama amplia de normas de calidad para cumplir con la Ley de Normas y Monitoreo de 1992. La falta de coordinación entre estas instituciones puede dificultar el establecimiento de prioridades para combatir la contaminación del agua y entorpecer el desarrollo de un programa para reducirla.

Existe una preocupación respecto a las posibilidades que tiene el Laboratorio Central de Calidad del Agua del Distrito Federal para recolectar datos y elaborar registros. Este laboratorio tiene la responsabilidad de cubrir una enorme área de servicio (aproximadamente 667 kilómetros cuadrados), con una alta densidad urbana y un extenso desarrollo industrial. La enorme complejidad de la red de distribución, propicia que existan diferentes condiciones de calidad del agua en distintas partes de la red. El Estado de México tiene menos capacidad que el Distrito Federal para monitorear y reportar la calidad del agua en su área de servicio. La información relativa a la calidad del agua no está directamente disponible para ninguna de las dos áreas de servicio.

Recomendación: El Distrito Federal y el Estado de México deben trabajar de manera conjunta, con el objeto de mejorar sus capacidades para recolectar datos sobre la calidad del agua, organizar la información y reportar los resultados del monitoreo. Información actualizada y confiable debe ponerse a la disposición del público en general, así como de las instituciones gubernamentales y de investigación. Esta información debe presentarse en forma organizada y detallada, de modo que sea posible identificar los reglamentos que no hayan sido cumplidos en áreas específicas del sistema de distribución, así como la repercusión de este incumplimiento para la salud pública.

TEMA: LAS ESTRATEGIAS PARA LA FUTURA PLANEACIÓN Y DESARROLLO DE LOS RECURSOS DEL AGUA

Los costos de extracción, abastecimiento y desecho de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México han sufrido un dramático incremento, por lo que la recaudación que se obtiene por el servicio no es suficiente para pagar los costos de operación y mantenimiento. Este desequilibrio restringe la capacidad

de extender la red a las áreas que carecen de servicio, tratar las aguas negras y financiar la reparación de las fugas en el sistema de distribución. La escasez y el valor real del agua no se reflejan en su administración ni en su consumo. La mayor parte del uso se mide de manera poco confiable y en algunos casos no se le da seguimiento, por lo que una gran cantidad de recibos de agua se quedan sin pagar. A este respecto, no se conocen con precisión el número de cobros pendientes ni el uso real del agua.

La relación entre la demanda y el abasto de agua podrá ser más equilibrada en la medida que se promueva una noción más amplia de la administración de la demanda, de tal manera que tanto el abasto como el uso del agua reciban atención durante el proceso de planeación. El uso del agua puede reducirse en muchas instancias, sin afectar el desarrollo económico de la región, si se pone más cuidado en la conservación que en el aumento de la capacidad de abastecimiento. Las herramientas políticas específicas para lograr este objetivo incluyen programas educativos, programas de reparación de la infraestructura existente, programas de conservación, reglamentación, instalación y mantenimiento de medidores, planeación del uso urbano de la tierra, así como ajustes de tarifas que reflejen precios más adecuados a los costos de abastecimiento.

Recomendación: Es necesario identificar e instalar medidores a los grandes usuarios, sin considerar a los más pobres. Para conseguir una medición adecuada, se pueden instalar varios millones de medidores adicionales, a un costo aproximado de N\$300 cada uno. Aunque esto representa una inversión muy importante, ésta no es comparable con los enormes costos que supondría reparar y mejorar la infraestructura existente, o importar agua desde cuencas distantes. Junto con la reestructuración de los precios, la medición ayudaría a que los gobiernos locales cubrieran totalmente los costos de operación del sistema de abastecimiento de agua. La medición del uso del agua, el muestreo de las lecturas de medidores, la reparación de los medidores averiados y la revisión de los costos del agua, son factores esenciales para su conservación y deberían constituir metas para toda la comunidad. Lo más urgente es instalar medidores a los grandes usuarios, que suelen ser los que más recursos económicos poseen, ya que las ganancias son menores cuando la medición se aplica a los usuarios más pequeños y pobres (muchos de los cuales ni siquiera tienen acceso al agua en el interior de sus casas).

Recomendación: Establecer un método confiable para la lectura de los medidores y el cobro de los recibos. Las tarifas de agua deben establecerse de tal forma que permitan a cada administración desarrollar un programa autofinanciable. El establecimiento de precios realistas para el consumo de agua es una de las claves fundamentales del manejo de la demanda. Así mismo, el fijar tarifas reales podría resultar una herramienta de múltiples aplicaciones para influir en los patrones de consumo, satisfacer metas finan

cieras y obtener importantes logros en los aspectos ambiental y social. Por otra parte, es más probable lograr un uso sostenible y eficiente del agua si las oficinas municipales son financieramente autosuficientes y los usuarios pagan el costo real del desarrollo, distribución y mantenimiento de los sistemas de agua. El costo del agua, incluyendo los costos de tratamiento y desecho, debe ser establecido y usado como guía que permita fijar tarifas más reales. La aplicación de un sistema tarifario progresivo por bloques, con tasas muy bajas para cantidades muy bajas, resultaría una manera práctica de lograrlo. La capacidad operativa de las oficinas responsables debe aumentar, para poner al día los registros de conexiones, leer medidores, preparar los recibos y sancionar a quienes no paguen, todo lo cual requiere de la capacitación de un grupo de personas con las habilidades necesarias. Desarrollar una base de datos confiable de los usuarios (encabezada por los usuarios principales) facilitaría la realización de esta política.

Recomendación: El servicio de agua debe ampliarse y recibir una adecuada reparación y mantenimiento. El Departamento del Distrito Federal ha puesto en marcha una campaña intensiva para eliminar las fugas del sistema, acción tan importante para el abastecimiento de agua como el desarrollo de una fuente nueva; este programa debe recibir mayor apoyo. Adicionalmente, es necesario reparar la vieja infraestructura y las averiadas instalaciones del sistema. Aunque es difícil de lograr, se debe proveer de un servicio de agua adecuado a todos los hogares dentro de un área de servicio determinada.

TEMA: OPORTUNIDADES DE ORGANIZACIÓN Y CAMBIO

Esta categoría incluye acciones relacionadas con la promoción de prácticas realistas en el establecimiento de tarifas, la promoción de la investigación y el desarrollo, la educación pública y otras políticas reguladoras, incluyendo un examen de los beneficios potenciales de una privatización. Funcionarios, administradores y políticos, deben jugar un papel central en la promoción de estas políticas. Los gobiernos enfrentan dificultades cuando tratan el tema de la conservación del agua, porque se trata de un tema con una fuerte carga política. Muchas personas en México opinan que, puesto que el agua es esencial para la vida, las autoridades tienen la obligación de llevarla a la población sin costo alguno o a un precio muy bajo. Por lo tanto, la educación y la conciencia pública tienen una responsabilidad muy importante en la conservación. Un programa bien diseñado de educación pública puede modificar los hábitos de uso del agua en una comunidad y pueden, en consecuencia, lograr una reducción sustancial de la demanda. El Departamento del Distrito Federal ha llevado a cabo una serie de campañas publicitarias relativas a la conservación; sin embargo, su eficacia aun no ha sido evaluada.

El Departamento del Distrito Federal ha comenzado a desarrollar una iniciativa de privatización, fundada en la convicción de que el sector privado tiene el potencial necesario para mejorar la eficiencia administrativa con la motivación de obtener beneficios económicos. Esta iniciativa deja la propiedad de la infraestructura y la inversión de capital en manos del sector público, pero éste contratará en forma gradual muchas funciones administrativas con las compañías privadas, mediante contratos competitivos a corto plazo. Esta transición hacia la administración privada representa un cambio radical tanto para el gobierno como para el público.

Recomendación: Deben desarrollarse, mantenerse y evaluarse campañas públicas de educación. Es importante promover el interés por la conservación del agua entre el público en general, enfocando el mensaje de manera apropiada. No es necesario subrayar este aspecto entre aquellas personas que no tienen acceso al agua en sus casas, pues por lo general no tienen mucho control respecto a su uso. Debe explorarse la posibilidad de involucrar al sector privado tanto en la responsabilidad de la educación pública como en la administración del agua.

Recomendación: Es necesario incorporar profesionistas que se ocupen de las ciencias sociales a las oficinas de administración y regulación del agua, para que contribuyan a desarrollar los programas de control de la demanda. Uno de los principales impedimentos para mejorar la administración de la demanda de agua es la baja capacitación que los empleados de las oficinas suelen tener para el desempeño adecuado de sus tareas. La importancia que en el pasado se concedió a la construcción de instalaciones para el abastecimiento de agua se refleja en la contratación y promoción de empleados con mucha experiencia en ingeniería, pero con poca preparación en otras materias, tales como sicología, publicidad, ciencias políticas y economía. El empeño puesto en los aspectos físicos del sistema ha restado importancia a la recolección de datos sobre las características de los usuarios y sus hábitos, así como sobre los incentivos necesarios para reducir la demanda.

Aunque la administración del sistema de distribución de agua sea privatizada, las oficinas municipales tienen todavía un papel importante que jugar en el establecimiento y la vigilancia de las políticas relativas al agua. Por lo tanto, se requiere de un esfuerzo concertado para mejorar la capacidad de las oficinas administradoras, poniendo especial atención en el reclutamiento y la promoción de profesionales formados en el estudio de las ciencias sociales. Las oficinas de conservación y manejo de la demanda deben tener jerarquía entre las oficinas de abastecimiento de agua, para que puedan participar en la toma de decisiones.

TEMA: EQUIDAD

Los residentes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México reciben servicios de agua de muy distintos niveles y usan cantidades muy diferentes. El agua es muy fácil de obtener a bajo costo para algunos, mientras que para otros el servicio de agua no es confiable y/o es inconveniente. La relevancia concedida a la conservación del agua y al manejo de la demanda, no debe soslayar la necesidad de mejorar el servicio de agua para la mayoría de los usuarios más pobres. Las instancias que administran el agua requerirán de un amplio apoyo por parte del público para tratar de establecer una adecuada estructura de tarifas y otras reformas. Este apoyo no se obtendrá a menos que el público perciba que el servicio se presta de manera equitativa. En muchos países en vías de desarrollo los más pobres no tienen acceso al sistema público de agua, por lo que tienden a pagar una parte mayor de su ingreso para obtener agua de buena calidad, mientras que las personas de mayores recursos, tienen un mejor acceso al agua pagando tarifas bajas (Crane, 1994; Banco Mundial, 1992; Whittington y Choe, 1992). Por lo tanto, los supuestos efectos negativos entre la población de menores ingresos, no deben ser un impedimento para estructurar las tarifas de una forma más racional. Estudios posteriores garantizarán un conocimiento más amplio sobre la forma como la expansión del sistema de distribución y las políticas tarifarias de agua afectan la salud y el nivel financiero de los más pobres. Adicionalmente, habría que preocuparse por una situación de equidad que tome en cuenta a las futuras generaciones. Si la demanda de agua no puede ser sostenida a largo plazo, las futuras generaciones de habitantes de la ZMVM tendrán un acceso aún más limitado al agua potable.

Recomendación: Los servicios de agua deben seguir ampliándose en beneficio de los más pobres. Los estratos más pobres de la población en la Zona Metropolitana de la ciudad de México no tienen un abastecimiento de agua conveniente y confiable. Al evaluar los costos y beneficios que resulten de reformas tales como la reestructuración de tasas y la privatización, debe ponerse particular atención en el impacto que pudieran tener sobre la población de escasos recursos. El agua es una necesidad básica, esencial para el bienestar y la salud del hombre, por lo que debe estar disponible para los ciudadanos de todos los niveles económicos. Al aumentar las tarifas en bloque para los usuarios de alto consumo se elevará el nivel de costos entre aquellos que pueden pagarlos, al tiempo que se apoyarán las medidas de conservación de agua.

Recomendación: El público debe estar involucrado en las decisiones relativas a la privatización y el control de la demanda de agua. En la medida en que el agua pase de ser un derecho natural gratuito a representar un servicio por el que se pague un precio justo, los usuarios demandarán mayor

participación en las decisiones. Es importante asegurar al público que el precio por el servicio es razonable en relación con su costo, que la cantidad y calidad del agua se distribuye de manera justa a todos los usuarios y que los programas de conservación y el uso de los subsidios son equitativos. Estas medidas permitirán que el público usuario, opine y se involucre en los procesos de toma de decisiones.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

Referencias

- AIC-ANIAC. 1995. *El Agua y la Ciudad de Mexico*. Mexico, D.F.: Academia de la Investigación Científica, A.C. y Academia Nacional de Ingeniería, A.C.
- Alberro, J. 1993. Algunos efectos de las filtraciones en la estabilidad de las masas rocosas. Primera Conferencia Magistral, 22–24 de septiembre. J.Marsal (ed.), Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas, A.C. Texcoco, Gro., México.
- Albert, L., P.Mendez, and M.Cebrian. 1980. Organochlorine Pesticide Residue in Human Adipose Tissue in Mexico: Results of a preliminary study in three Mexican cities. *Archives of Environmental Health* 35(5):262–269.
- Bahl, R.W., and J.F.Linn. 1992. *Urban Public Finance in Developing Countries*. New York: Oxford University Press. Published for The World Bank.
- Bellia, S., G.Cusimano, M.T.González, R.C.Rodríguez, and G.Giunta. 1992. *El Valle de México; consideraciones preliminares sobre los riesgos geológicos y análisis hidrogeológico de la cuenca de Chalco*. Quadernilla (Serie Scienza 4), Instituto Italo-Latino Americano, Roma.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Boland, J.J. 1983. *Water/Wastewater pricing and financial practices in the United States*. Washington, D.C.: Metametrics, Inc.
- Bredehoeft, J.D. and G.F.Pinder. 1970. Digital Analysis of Areal Flow in Multiaquifer Groundwater Systems: A Quasi Three-Dimensional Model. *Water Resources Research*, 3(6):883–888.
- Buenfil, M. 1993. Household water metering and tariffs. Mexico D.F. Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua (IMTA).
- Carrillo, N. 1948. Influence of artesian wells on the sinking of México City. In *Proceedings of the 11th International Conference on Soils Mechanics*. Holland.
- Castro, J.F. 1991. El cholera, una plaga rediviva. *Gaceta Medica de Mexico* 127(5):395–398.
- Cech, I., and A.Essman. 1992. Water sanitation practices along the U.S.-Mexico border; implication for physicians on both sides. *Southern Medical Journal* 85(11):1053–1064.
- Comisión de Aguas de Distrito Federal. 1993. Licitacion para la prestacion de servicios relaciones con el servicio publico de agua potable y drenaje en el Distrito Federal. Mexico, D.F.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. 1993. Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Mexico 1994–2000 Tomo 2.
- Comisión Nacional del Agua. 1992. Situación Actual del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Gerencia de Información y Participación Ciudadana.
- Crane, R. 1994. Water markets, market reform, and the urban poor: Results from Jakarta, Indonesia. *World Development* 22. World Bank Technical Report 22 (?).
- Craun, G.F., R.J.Bull, R.M.Clark, J.Doull, W.Grabow, G.M.Marsh, D.A. Okun, S.Regli, M.D.Sobsey, and J.M.Symons. 1994a. Balancing chemical and microbial risks of drinking water disinfection, Part I. Benefits and potential risks. *J. Water SRT-Aqua* 43(4):192–199.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Craun, G.F., S.Regli, R.M.Clark, R.J.Bull, J.Doull, W.Grabow, G.M.Marsh, D.A.Okun, M.D.Sobsey, and J.M.Symons. 1994b. Balancing chemical and microbial risks of drinking water disinfection, Part II. Managing the risks. *J. Water SRT-Aqua* 43(5):207–218.
- Cutter Information Corp. 1992. Technology transfer in practice: the Mexico example. *Business and the Environment* 3(4):3–5.
- Departamento del Distrito Federal. 1969. Interceptores Profundos y el Emisor Central. Un Nuevo Sistema para el Distrito Federal. Secretaría General de Obras Publicas. Mexico, D.F.
- Departamento del Distrito Federal. 1982. El Sistema Hidráulico del Distrito Federal, un servicio publico en transición. Mexico, D.F.
- Departamento del Distrito Federal. 1990a. El Sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. México, D.F.: Secretaria General de Obras.
- Departamento del Distrito Federal. 1990b. Memoria, Programa de Use Eficiente del Agua. Mexico, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidraulica.
- Departamento del Distrito Federal. 1991a. AGUA 2000: Estrategia para la Cuidad de México. México, D.F.
- Departamento del Distrito Federal. 1991b. Memoria: Programa de Uso Eficiente del Agua, 3rd edition. Mexico, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Secretaría General de Obras.
- Departamento del Distrito Federal. 1992a. Memoria: Programa de Uso Eficiente del Agua, 4th edition. Mexico D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Secretaría General de Obras.
- Departamento del Distrito Federal. 1992b. 1992 Compendio DCGOH. Mexico D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidraulica. Secretaria General de Obras Publicas.
- Durazo, J., and R.N.Farvolden. 1989. The ground water regime of the Valley of Mexico from historic evidence and field observations. *Journal of Hydrology* 112:1–190.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Espino, E., M.Vázquez, and F.Flores. 1987. Pilot Studies of Wastewater Potabilization in México City. P. 693–703 in Proceedings, Water Reuse Symposium IV, August 1987, Denver, Colorado: American Water Works Association.
- Falkenmark, M. and R.A.Suprapto. 1992. Population-landscape interactions in development: a water perspective to environmental sustainability. *Ambio* 21(1):31–36.
- Fox, K.R. 1993. Engineering aspects of waterborne disease outbreak investigations. Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency.
- Garza, G., ed. 1987. Atlas de la Ciudad de México. Departamento del Distrito Federal y El Colegio de México. México, D.F.
- Garza, G., ed. 1989. Una Década de Planeación Urbano-Regional en México, 1978–1988. El Colegio de México. México, D.F.
- Frederick, K.D. 1993. Balancing Water Demands with Supplies: The Role of Management in a World of Increasing Scarcity, World Bank Technical Paper No. 189. Washington, D.C.: The World Bank.
- Herrera, I. 1970. Theory of multiple leaky aquifers. *Water Resources Research*, 6(1):185–193.
- Herrera, I., and G.E.Figueroa. 1969. A correspondence principle for the theory of leaky aquifers. *Water Resources Research* 5(4):900–904.
- Herrera, I., R.Martínez G., and G.Hernández. 1989. contribución para la administración científica del agua subterránea de la Cuenca de México. In *El sistema acuífero de la Cuenca de México*. Special volume, I. Herrera (ed.), *Geofísica Internacional*, 28(23):297–234. Unión Geofísica Mexicana.
- Herrera-Revilla, I., R.Medina-Bañuelos, J.Carrillo-Rivera, and E.Vazquez-Sánchez. 1994. Diagnóstico del Estado Presente de las Aguas Subterráneas de la Ciudad de México y Determinación de sus Condiciones Futuras. Contracto No. 3–33–1–6684. México, D.F.: DGCOH, DDF, Instituto de Geofísica, UNAM.
- Hiriart, F., and R.J.Marsal. 1969. El Hundimiento de la Ciudad de México. Pp. 109–147 in VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos y Ingeniería de Cimentaciones, N.Carrillo (ed.). Mexico D.F.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Ingram, H., N.Laney, and D.Gilliland. 1995 (in press). *Divided Waters: Bridging the U.S.-Mexico Border*. University of Arizona Press, Tucson, AZ.
- INEGI (Instituto Nacional Estadística Geografía y Informática). 1991a. *Area Metropolitana del la Ciudad de Mexico—Síntesis de Resultados—X Censo General de Población y Vivienda 1990*. Mexico, D.F.: INEGI.
- INEGI. 1991b. *Resultos Definitivos, XI Censo General de Población y Vivienda 1990*. Mexico, D.F.: INEGI.
- International Life Sciences Institute. 1992. *The Safety of Water Disinfection: Balancing Chemical and Microbial Risks*. Proceedings of The First International Conference on the Safety of Water Distribution. Washington, DC.
- Juarez, J., G.Martinez, and J.Diaz. 1992. Installation of a water disinfection system in a Mexico City hospital. *Bulletin of the Pan American Health Organization* 26(2):121–127.
- Kindler, J., and C.S.Russell, et al., eds. 1984. *Modeling Water Demands*. London: Academic Press.
- Lessor y Asociados, S.A. de C.V. 1993. *Perfiles de suelo para determinar el movimiento de contaminantes al agua subterránea*. Mexico, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación. Departamento del Distrito Federal.
- Lesser-Illades, J.M., F.Sánchez-Díaz, y D.González-Posadas. 1990. Aspectos geohidrológicos de la ciudad de México. *Ingeniería Hidráulica en México* I(5):52–60, Mexico, D.F.
- Marrow, A.L., R.R.Reewes, and M.S.West. 1992. Protection against infection with *Giardia lamblia* by breast-feeding in a cohort of Mexican infants. Mexico, D.F.: *J. Pediatrics* 121(3):363–370.
- Marsal, R.J. 1974. *El hundimiento de la Ciudad de Mexico*. El Colegio Nacional.
- Martin, W., H.Ingram, N.Laney, and A.Griffin. 1980. *Saving Water in a Desert City*. Johns Hopkins Press, Baltimore, MD.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Mazari, M., and M.D.Mackay. 1993. Potential groundwater contamination by organic compounds in the Mexico City Metropolitan Area. *Environ. Sci. Technol.* 27(5):794–802
- McFadzean, J.A., and I.M.Pugh. 1976. Amoebiasis. In *Epidemiology and Community Health in Warm Climate Countries.* R.Cruickshank, K. Standard, H.Russell (eds.). Churchill Livingstone, New York NY, 482 pp.
- Metcalfe and Eddy, Inc. 1991. *Wastewater Engineering; Treatment, Disposal, and Reuse.* 3rd edition, revised by G.Tchobanoglous and F.T.Burton. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, 1334 pp.
- Mooser, F. 1990. Estratigrafía y estructura del Valle de México en el subseulo de la cuenca del Valle de México y su relación con la Ingeniería de cimentaciones, a cinco años del sismo, México, en *Revista de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.* Mexico, D.F.
- Mooser, F., and C.Molina. 1993. Nuevo Modelo Hidrogeológica para la Cuenca de México. *Boletín del Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra*, 3(1):68–84. México D.F.
- Munasinghe, M. 1992. *Water Supply and Environmental Management: Developing World Applications.* Westview Press, Boulder, Colorado.
- National Research Council. 1993. *Ground Water Vulnerability Assessment: Contamination Potential Under Conditions of Uncertainty.* National Academy Press, Washington D.C.
- National Research Council. 1994. *Ground Water Recharge Using Waters of Impaired Quality.* National Academy Press, Washington, D.C.
- Odendaal, P.E., and W.H.Hattingh. 1987. Status of Potable Reuse Research in South Africa. *Proceeding of Water Reuse Symposium IV.* American Water Works Association, Denver, CO, pp. 1339–1348.
- Okun, D.A. 1991. A water and sanitation strategy for the developing world. *Environment* 33(8):16–43.
- Okun, D.A., and D.T.Lauria. 1991. *Capacity building for water resources management: An international initiative for the 1990s.* Division for Global and Interregional Programmes, United Nations Development Programme. United Nations, New York, New York.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Organization Panamericana de la Salud. 1990a. *Health Statistics in the Americas*. PAHO Scientific Publication No 524, Volume II, Washington, D.C.
- Organization Panamericana de la Salud. 1990b. *Health Conditions in the Americas*. PAHO Scientific Publication No 524, Volume I, Washington, D.C.
- Orozco, and Berra. 1864. Memoria para la Carta Hidrográfica del Valle de México. Imprenta de A. Boix, Mexico, D.F. 185 p.
- Ortega, A., J.A.Cherry, and D.L.Rudolph. 1993. Large-scale aquitard consolidation near Mexico City. *Ground Water* 31(5):708–718.
- Ostrom, E., L.Schroeder, and S.Wynne. 1993. *Institutional Incentives and Sustainable Development: Infrastructure Policies in Perspective*. Boulder, Colorado: Westview Press.
- Piña, R., R.Vilehis and M.Buenfil. 1993. Water demand parameters for supply systems planning. Mexico, D.F.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Mexico.
- Pitre, C.V. 1994. Analysis of induced recharge from a wastewater canal through fractured clays in Mexico City. M.Sc. Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada.
- Rivera, F., F.Medina, and P.Ramirez. 1984. Pathogenic and free-living protozoa cultured from nasopharyngeal and oral regions of dental patients. *Envir. Research* 33:428–440.
- Rivera, F., M.E.Paz, and E.Lopez-Ochoterena. 1978. Transformacion amebo-flagelar espontanea y inducida en especies del genero Naegleria, recolecteadas en piscinas, grifos, y reservorios naturales de agua dulce de la Ciudad de Mexico. *Arch. Mex. Anat.* 15:9–19.
- Rivera, F., P.Ramirez, and G.Vilaclara. 1983. A survey of pathogenic and free-living amoebae inhabiting swimming pool water in Mexico City. *Envir. Research* 32:205–211.
- Rivera, F., F.I.Rosas, and M.Castillo. 1986. Pathogenic and free-living protozoa cultured from nasopharyngeal and oral regions of dental patients. *Envir. Research* 39:364–371.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Rivera, F., A.Ortega, E.Lopez-Ochoterena, and M.E.Paz. 1979. A quantitative morphological and ecological study of protozoa polluting tap water in Mexico City. *Transactions of the American Microscopic Society* 98(3):465–469.
- Rivera, F., P.Bonilla, E.Ramírez, A.Calderón, E.Gallegos, S.Rodríguez, R. Ortiz, D.Hernández, and V.Rivera. 1994. Seasonal distribution of air-borne pathogenic and free-living amoebae in Mexico City and its suburbs. *Water, Air, and Soil Pollution* 74(1–2):65–87.
- Rodríguez, R. 1987. consideraciones preliminares, basadas en resultados geofísicos, sobre la interfase agua mineralizada-agua dulce in el área de Sta. Catarina Yecahuitzol, Distrito Federal, México. *Geofísica Internacional*, 26(4):573–583. México, D.F.
- Rose, J.B., C.H.P.Gerba, and W.Jakubowski. 1991. Survey of potable water supplies for *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Environmental Science and Technology* 25(6):1303–1310.
- Rose, J.B. 1993. Enteric waterborne protozoa: hazard and exposure assessment. In: Craun, G.F. (ed.) *Safety of Water Disinfection*. Washington: Internation Life Science Institute Press.
- Roth, G. 1985. The role of the private sector in providing water in developing countries. *Natural Resources Forum* 9:167–177.
- Rowen, J., and D.Behm. 1993. Fatal Neglect. *Milwaukee Journal*, August, pp. 19–26.
- Rudolph, D.L., J.A.Cherry, R.N.Farvolden. 1991. Ground water flow and solute transport in fractured lacustrine clay near Mexico City. *Water Resources Research* 27(9):2187–2201.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicas). 1953–1969. Boletines de Mecánica de Suelos, Comisión Hidrológica de la Cenca del Valley de México, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulica, Mexico, D.F.: SARH.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicas). 1988. Estudio para evitar la contaminación del acuífero del Valle de México. Contrato CAVM 85–406. Mexico, D.F.: Instituto Geofísica de la UNAM, Comisión de Aguas del Valle de México de SARH.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Sarti-Gutierrez, E.J., Q.F.R.Parrilla-Cerrillo, and S.Vazquez-Barojas. 1989. Control sanitario de alimentos en las ciudad de Mexico. *Salud Publico de Mexico* 31(1):82-90.
- Schteingart, M. 1993. Interview, El Colegio de México, February 23 and 25.
- Sepulveda, A.J., W.Willett, and A.Munoz. 1978. Malnutrition and diarrhea: A longitudinal study among urban children. *Am. J. Epidemiology* 127:365-376.
- Simonian, L. 1988. Pesticide use in Mexico: decades of abuse. *Ecologist* 18(2-3):82-87.
- Shaw, D., R.Henderson, and M.Cardona. 1992. Urban drought response in Southern California: 1990-91, *Journal of the AWWA* 84(10):34-41.
- Shuval, H.I. 1986. Wastewater irrigation in developing countries; health effects and technical solutions. World Bank Technical Report No. 51. Washington, DC.
- Soave, R. 1990. Treatment strategies for cryptosporidiosis. *Ann. NY Acad. Sci.* 616:442-451.
- Tchobanoglous, G., and E.D.Schroeder. 1985. *Water Quality*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development. 1992. *Manual-Guidelines for Water Reuse*. EPA/625/R-92/004. Washington, DC.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1993. *Evaluation of Mexico Environmental Laws, Regulations, and Standards*. Washington, D.C.: EPA Office of General Council.
- U.S. General Accounting Office. 1991. *U.S.-Mexico Trade; Information of Environmental Regulations and Enforcement*. GAO/NSIAD-91-227. Washington, DC.
- Ward, P. 1990. *Mexico City: The Production and Reproduction of an Urban Environment*. London: Belhaven Press.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

- Whittington, D. and K.Choe. 1992. Economic benefits available from the provision of improved potable water supplies. WASH Technical Report No. 77. Washington, D.C.: USAID.
- World Bank. 1991. Water: Save now or pay later. The Urban Edge: Issues and Innovations 15(3)1-6.
- World Bank. 1992. World Development Report 1992: Development and the Environment. New York: Oxford University Press.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

Apéndice A

RESUMEN BIOGRAFICO DE LOS MIEMBROS DEL COMITÉ

CHARLES T.DUMARS, *co-presidente*, es profesor en la Universidad de Nuevo México, en donde imparte cursos de derecho del agua, derecho minero, derecho constitucional y derecho comparativo internacional privado. El obtuvo su licenciatura en psicología en la Universidad de Oregon y su doctorado en Derecho en la Universidad de Arizona. Es miembro de la barra de abogados de los estados de Nuevo México y Arizona. Ha trabajado en el “Western States Water Council” y en el “Bureau of Land Management Advisory Board” del estado de Nuevo México. El Dr. DuMars también fue miembro del “Committee on Irrigation-Induced Water Quality Problems” del “National Research Council”.

ISMAEL HERRERA REVILLA, *co-presidente*, es catedrático Patrimonial de excelencia (CONACYT) e investigador emérito de la UNAM (Instituto de Geofísica). Es matemático-con amplia formación en matemáticas básicasdedicado a las aplicaciones de las matemáticas: ingeniería civil, geofísica y recursos hidráulicos, principalmente. Obtuvo su doctorado en la División de Matemáticas Aplicadas de la Brown University (EUA)-después de realizar estudios en química, física y matemáticas en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Su trabajo científico incluye tanto contribuciones metodológicas como aplicaciones específicas. Es editor de

“Numerical Methods for Partial Differential Equations: An International Journal” (John Wiley, Nueva York). Ha desempeñado el cargo de director del Instituto de Geofísica de la UNAM, durante tres periodos, y fue organizador y fundador del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Entre las distinciones que ha recibido por sus contribuciones, se encuentran los tres premios científicos más importantes que se ofrecen en México. También, es expresidente tanto de la Academia Nacional de la Investigación Científica como de la Academia Nacional de Ingeniería. Su actividad internacional incluye responsabilidades editoriales y puestos consultivos de diversas sociedades y universidades. En la Universidad de Princeton, fue miembro del “Advisory Council” (Ingeniería Civil e Investigación de Operaciones), durante ocho años.

IRINA CECH es profesora de salud ambiental e hidrología en el Centro de Ciencias de la Salud de la Universidad de Texas en Houston, Escuela de Salud Pública, y Visiting Profesor en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. Recibió su maestría en hidrología en la Universidad de Moscú y obtuvo su doctorado (Ph.D.) en ciencias de salud ambiental en la Universidad de Texas. Sus áreas de interés incluyen: salud ambiental, hidrología y salud internacional. Sus investigaciones se ocupan del estudio de acuíferos y del desarrollo de fuentes de alimentación hidráulica de los acuíferos, geoquímica y efectos sobre la salud del uso de fuentes inadecuadas y contaminadas. Como miembro del Comité de Ciencia e Ingeniería del Congreso ha trabajado como asistente especial en el Subcomité de Planeación e Investigación del Comité de Energía y Comercio. Es Consultora de la Organización Mundial de la Salud y de la Organización Panamericana de la Salud.

CRISTINA CORTINAS DE NAVA es Asesora del Instituto Nacional de Ecología (1992 a la fecha) y investigadora del Instituto de Investigaciones Biomédicas en el Departamento de Genética y Toxicología Ambiental. Obtuvo su licenciatura en biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el doctorado en ciencias naturales en la Facultad de Ciencias de la Universidad de París, Francia. Fue investigadora en la Clínica de Genética Médica del Hospital Infantil de París. En México fue investigadora del IMSS, en donde estuvo a cargo del Departamento de Biología de la Nutrición. En 1971 ingresó al Instituto de Investigaciones Biomédicas en donde actualmente sigue colaborando como investigadora y en donde fundó el Laboratorio de Genética Toxicológica y la Unidad de Investigación en Salud Ambiental. En tres ocasiones ha colaborado con el Gobierno de la República a través de la Comisión de Ecología del DDF, en donde estuvo a cargo de la Subdirección de Impactos del Ambiente en la Salud. Fue directora general de Salud Ambiental en la Secretaría de Salud (1989–1991). Es investigadora nacional. Durante los dos últimos años representó al Instituto de Ecología como observadora en las reuniones de medio ambiente de la OCDE y preparó el

ingreso de México a la misma en lo relativo a las cuestiones ambientales. Es coautora de varios libros sobre impacto ambiental, residuos industriales y cuatro monografías sobre residuos peligrosos y problemas relacionados con el medio ambiente. Y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores.

JOSÉ RAMÓN COSSÍO DÍAZ es profesor de derecho constitucional en la licenciatura en derecho del ITAM y profesor en la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), sede México. Es licenciado en derecho por la UNAM. Obtuvo su maestría en derecho constitucional y administrativo en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Derecho de la UNAM. Realizó su especialidad en derecho constitucional y ciencia política en el Centro de Estudios Constitucionales de Madrid, obteniendo el premio anual al mejor trabajo de derecho constitucional. Su doctorado lo obtuvo en la Facultad de Derecho de la Universidad Complutense de Madrid. Dentro de sus actividades académicas el Dr. Cossío ha ocupado cargos con el Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM, la Comisión de Derechos Humanos de la H. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, la Suprema Corte de Justicia de la Nación, y otros. Dentro de otras de sus actividades y cargos el Dr. Cossío es editor del *Boletín del Instituto Iberoamericano de Derecho Constitucional* de la UNAM; es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1989; miembro del Comité Organizador del Seminario Internacional de Estados sobre teoría y filosofía del derecho de Eduardo García Maynez, bajo el patrocinio del ITAM y la Escuela Libre de Derecho (1993); miembro del Consejo Consultivo del Instituto de Administración Pública del estado de Colima (1992); miembro regular de la Academia de la Investigación Científica, A.C.

RANDALL CRANE es profesor asistente de análisis y diseño ambiental en el Programa de Ecología Social en la Universidad de Irvine, California. Obtuvo la licenciatura en historia en la Universidad de California, Santa Bárbara. La maestría en planeación urbana, en la Universidad Estatal de Ohio y su doctorado en estudios de planeación urbana del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Sus intereses en investigación y docencia incluyen desarrollo y crecimiento urbano, suministro y demanda de agua en países en vías de desarrollo, administración pública, uso del suelo y análisis costo-beneficio. Ha sido profesor visitante en el Centro de Estudios Económicos y en el Colegio de México, en la Ciudad de México, en donde enseñó y llevó a cabo una investigación sobre crecimiento urbano y desarrollo en la Ciudad de México.

ROBERT N.FARVOLDEN es profesor de hidrología regional en el Departamento de Ciencias de la Tierra en la Universidad de Waterloo, y, desde 1993, es Senior Scientist con el National Ground Water Association. Obtuvo su licenciatura y maestría en la Universidad de Alberta y su doctorado (Ph.D.) en

hidrogeología en la Universidad de Illinois. El Dr. Farvolden es fundador del Programa de posgraduados en hidrología subterránea en la Universidad de Waterloo. Su principal interés en investigación está relacionado con los recursos hidráulicos subterráneos, relaciones entre el agua superficial y subterránea y contaminación del agua subterránea, y trabajaba en investigaciones de campo en hidrogeología física, calidad del agua e hidrología isotópica en el Valle de México. Tiene amplio conocimiento sobre los problemas hidrogeológicos del sistema acuifero de la cuenca de México en donde trabajó por siete años en un macro proyecto multidisciplinario, como investigador y co-director.

RICHARD S.ENGELBRECHT es profesor de ingeniería ambiental en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign y lleva a cabo investigación en el campo de contaminación y control de calidad del agua. Obtuvo su licenciatura en la Universidad de Indiana; su maestría y doctorado (Sc.D.) del Instituto Tecnológico de Massachusetts. El Dr. Engelbrecht es miembro de la Academia Nacional de Ingeniería, ha sido director del Comité de Reciclado, Reúso y Conservación del Agua en Zonas Aridas del National Research Council (1986). Fue director del Comité para la Evaluación Nacional de la Calidad del Agua de 1988 a 1990 y fue miembro fundador del Water Science and Technology Board del NRC.

HELEN INGRAM obtuvo su licenciatura en estudios gubernamentales en el Colegio Oberlin y su doctorado en derecho y gobierno en la Universidad de Columbia. Actualmente es directora del Centro Udall de Estudios de Administración Pública y es profesora del Departamento de Ciencias Políticas. Los campos de interés de la Dra. Ingram son la formación e implementación de políticas de gobierno, políticas de administración de recursos acuiferos, políticas sobre el medio ambiente y el estudio de la relación México-Estados Unidos. Ha llevado a cabo una gran cantidad de investigaciones sobre los aspectos de recursos acuiferos, incluyendo administración del agua, y es autora de libros y artículos sobre la administración de los acuiferos. Trabajó en la National Water Commission y fue Investigadora en el Comité de Recursos para el Futuro. La Dra. Ingram ha participado en varios Comités del NRC y fungió como Miembro del Water Science and Technology Board.

JESÚS KUMATE RODRÍGUEZ es Secretario de Salud de México. Cursó estudios de médico cirujano en la Escuela Médico Militar. Realizó su residencia en el Hospital Central Militar; su doctorado en ciencias, en la Escuela Nacional de Ciencias Biomédicas del Instituto Politécnico Nacional. Ha pertenecido al PRI desde 1983 y desempeñado cargos administrativos en el Gobierno Federal como director del Hospital Infantil de México, SSA, coordinador de los Institutos Nacionales de Salud, subsecretario de Servicios de

Salud y secretario de Salud. Entre sus actividades académicas están las de profesor en la Escuela Médico Militar, en la UNAM y en el IPN, investigador en el Hospital Infantil de México, e investigador nacional en la Secretaría de Educación Pública y miembro de El Colegio Nacional desde 1974. Ha fungido como presidente de la Academia Nacional de Medicina, 1975; y de las Sociedades Mexicanas de Bioquímica, de Infectología, de Inmunología y de Investigación Pediátrica. También ha recibido premios y condecoraciones, es miembro honorario de Academia Mexicana de Cirugía, y presidente del Consejo Ejecutivo de la Organización Mundial de la Salud, 1994–1995.

LUCRECIA LOZANO GARCÍA es directora del Departamento de Relaciones Internacionales del Campus Monterrey del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, en el cual se desempeña como profesora titular. Tiene maestra en historia del arte por la Universidad Iberoamericana, en la Ciudad de México. Obtuvo su doctorado en sociología en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1989.

JUAN MANUEL MARTÍNEZ GARCÍA fue director general de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento de Distrito Federal de 1988 a 1994. Es egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde recibió el título de ingeniero civil, en 1958. Posteriormente, en 1959, obtuvo el posgrado en ingeniería sanitaria y ambiental en la misma facultad. Dentro de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) fue Coordinador del Programa de Colonias Populares entre 1978 y 1980; subdirector y director de operación en 1981–1984; y Director general de la DGCOH de 1984 a 1985. Entre 1986 y 1988 fue subdirector regional de los módulos 5 y 6 del Programa Emergente Renovación Habitacional Popular en el Distrito Federal. Director ejecutivo y delegado fiduciario especial de Vivienda, Desarrollo Social y Urbano del Distrito Federal, de abril a diciembre de 1988. El Ing. Martínez García es fundador de la Ciudad Universitaria de México, habiendo fungido como tesorero y presidente en sus Consejos Directivos, unión Mexicana de Asociaciones de Ingenieros, actualmente preside el Comité de Ecología Water Pollution Control Federation. Fue vicepresidente del Colegio de Ingenieros Civiles de México 1992–1993 y es presidente de la Sociedad Mexicana de Ingenieros del Distrito Federal 1993–1996.

M. EN C. RUBÉN MARTÍNEZ GUERRA colabora con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y es Miembro Técnico Consultivo de la Comisión Nacional del Agua, desde 1988. Obtuvo su licenciatura en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, en 1965. Ha trabajado en la empresa privada en relación a la hidrología de acuíferos en Socorro, Nuevo

México. En 1970 obtuvo la maestría en geofísica e hidrología en el Instituto de Minas y Tecnología del Estado de Nuevo México. Desde 1970 a la fecha se ha desempeñado como consultor privado en geohidrología en más de 300 estudios regionales en México. Es profesor de la UNAM desde 1972, e inició estudios de Doctorado en 1986.

CARLOS VÉLEZ OCÓN fue director general del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), hasta el año de 1994. Obtuvo su maestría y doctorado (Ph.D.) en ingeniería nuclear en la Universidad de Michigan. Es miembro de la Sociedad Nuclear Americana, de la Academia Nacional de Ingeniería, de la Academia Mexicana de Ingeniería, de la Academia Mexicana de Física y de la Sociedad Mexicana Nuclear. Ha sido asesor en Ingeniería Nuclear en la Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal; profesor visitante en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales en la Universidad Politécnica de Madrid, director general adjunto de la Agencia Internacional de Energía Atómica en Viena y jefe del Departamento de Energía Nuclear de la Comisión Federal de Electricidad

DAVID WILK GRABER es consultor independiente en la Ciudad de México donde coordina varios proyectos incluyendo diversos programas del Banco Mundial para valoraciones medio ambientales rápidas y planeación medio ambiental. Obtuvo el grado profesional de licenciatura en arquitectura en la Universidad Autónoma Metropolitana en la Ciudad de México; su maestría en planeación regional y urbana, y su doctorado en planeación medio ambiental en la Universidad de Berkeley, California. Previamente el Dr. Wilk fue profesor en el Centro de Investigación y Docencia Económicas, A.C., y ha ocupado numerosos cargos como consultor. El Dr. Wilk disfrutó de una beca Fulbright habiendo participado en el México-U.S. Mutual Educational Exchange program at U.C., Berkeley. Sus intereses en investigación incluyen los impactos de las reglamentaciones ambientales y los efectos de los incentivos económicos, el uso de sistemas de información geográfica, y aspectos de crecimiento urbano.

RESUMEN BIOGRAFICO DE LOS PERSONALES DE APOYO DEL COMITÉ

GARY DAVID KRAUSS, program officer en el “National Research Council's Water Science and Technology Board,” fue director del estudio del del Comité Sobre el Suministro de Agua de la Ciudad de México. Obtuvo su licenciatura en Zoología en la Drew University, y al Maestra en Ecología de Pennsylvania State University, con estudios avanzados de “Remote Sensing of Earth Resources” y “Geographic Information Systems (GIS).” Trabajo con U.S. Cuerpo de Paz, biólogo de U.S. Servicio Forestal, y como consultor de GIS para aplicaciones ambiental.

JULIA EVA MELCHOR-SANCHEZ, asistente en la Fundación Ricardo Monges López, A.C., fue directora del estudio del Comité Sobre el Suministro de Agua de la Ciudad de México. Obtuvo su licenciatura en Biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México en el año de 1991. Obtuvo una beca para realizar su tesis de Licenciatura, por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), y trabajó como profesor en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha participado en varios simposios, congresos, y estudios de investigación de CONOCYT y ANIAC como ponente.

ALEJANDRO LOZANO GUZMAN fue director del estudio del Comité Sobre el Suministro de Agua de la Ciudad de México. Actualmente es Coordinador de Equipamiento para el Transporte en el Instituto Mexicano del Transporte y profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Obtuvo la especialización en Mantenimiento de radio aeronáutico en el Centro Internacional de Adiestramiento de Aviación Civil de México (1973). La Licenciatura y la Maestría en Ingeniería Mecánica en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y sus estudios de Doctorado en la Universidad de Newcastle Upon Tyne en Inglaterra. Cuenta con numerosas publicaciones científicas y como consultor industrial ha colaborado en diversos proyectos en las áreas de vibraciones mecánicas, análisis experimental de esfuerzos y diseño de máquinas. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y a la Academia Nacional de Ingeniería (ANIAC).

GREGORY KIM NYCE, asistente en la "National Research Council's Water Science and Technology Board," fue asistente del estudio del Comité Sobre el Suministro de Agua de la Ciudad de México. Obtuvo su licenciatura en Psicología de Eastern Mennonite University.

Apéndice B

ASOCIADOS AL PROYECTO

MANUEL AGUILAR ROMO, Dirección de Saneamiento Básico de la Dirección General de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud

SERGIO AJURIA GARZA, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

LAZARO ALANIS CABRERA, Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México

ROCIO ALATORRE EDEN, Escuela de Salud Pública de México, del Instituto Nacional de Salud Pública de la Secretaría de Salud

DANIEL JOEL ARCOS HERNANDEZ, Gerencia de Aguas del Valle de México, de la Comisión Nacional del Agua

MARIA AURORA ARMIENTA, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

PABLO BARCENAS BEUTELSPACHER, Gerencia de Aguas del Valle de México, de la Comisión Nacional del Agua

JORGE EUGENIO BARRIOS, Universidad de Illinois en Urbana-Champaign

ALEJANDRO CANO RUIZ, Instituto Nacional de Ecología, de la Secretaría de Desarrollo Social

CUAUHTEMOC CARRENO RANGEL, Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México

JOEL CARRILLO RIVERA, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México

- ARTURO CORREA CAMACHO, Subdirección de Desarrollo Tecnológico del Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua de la DGCOH
- ALEJANDRA CORTÉS-SILVA, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México
- MIGUEL ANGEL CORTÉS PEREZ, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal
- CARLOS CRUICKSHANK VILLANUEVA, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México
- GERARDO CRUICKSHANK GARCIA, Gerente del Proyecto del Lago de Texcoco
- JOSÉ CUENCA DARDÓN, Dirección de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito Federal
- RUBEN CHÁVEZ GUILLÉN, Comisión Nacional del Agua
- JAIME DURAZO LOZANO, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México
- TOMÁS GONZÁLEZ MORÁN, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México
- FERNANDO GONZÁLEZ VILLARREAL, Comisión Nacional del Agua
- XAVIER HARO SOLÓRZANO, Gerencia de Aguas del Valle de México, de la Comisión Nacional del Agua
- JAN HENDRICKS, Institute of Mining and Technology, Socorro, New México
- GUILLERMO HERNÁNDEZ GARCÍA, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México
- ROSARIO ITURBE ARGUELLES, Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México
- JUAN MANUEL LESSER ILLADES, Lesser y asociados
- FELIPE LÓPEZ SÁNCHEZ, Dirección General de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito Federal
- GREGORIO MARTÍNEZ RAMÍREZ, Subdirección de Desarrollo Tecnológico del Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua de la DGCOH
- MARIZA MAZARI HIRIART, Centro de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México
- RODRIGO MEDINA BAÑUELOS, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México
- ESTELA PATRICIA MEZA, Dirección de Saneamiento Básico de la Dirección General de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud
- CLAUDIO MOLINA TORRES, Comisión Nacional del Agua
- FEDERICO MOOSER HAWTREE, Geólogo de la Ciudad de México, Dirección General de Obras del Departamento del Distrito Federal
- ADRIAN ORTEGA GUERRERO, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

- GILDARDO ORTIZ FUENTES, Comisión de Aguas del Departamento del Distrito Federal
- MANUEL ORTIZ GARCÍA, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Gobierno del Estado de México
- FILIBERTO PÉREZ DUARTE, Dirección de Saneamiento Básico de la Dirección General de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud
- ENRIQUE PÉREZ SANGERMAN, Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México
- NELSON PIÑON MARTÍNEZ, Gerencia de la Comisión Nacional del Agua en el Estado de México
- GENARO RAMÍREZ LÓPEZ, Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud
- RAMIRO RODRÍGUEZ CASTILLO, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México
- FERMÍN RIVERA AGUERO, Dirección de Investigación de la ENEP-Iztacala
- JULIA RIVERA JARAMILLO, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal
- LEOPOLDO RODARTE RAMON Hydroalegro, S.A.
- JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ TIRADO, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal
- ELIAS SAHAB HADDAD, Gerencia Regional de Aguas del Valle de México de la Comisión Nacional del Agua
- BEATRIZ SANTAMARÍA RAMÍREZ, Subdirección de Desarrollo Tecnológico del Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua de la DGCOH
- CARLOS SANTOS BURGOA, Escuela de Salud Pública de México, del Instituto Nacional de Salud Pública de la Secretaría de Salud
- CONRADO SARMIENTO BLEICHER, Dirección General de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito Federal
- ARTURO SIL PLATA, Dirección de Información y Emergencias Epidemiológicas de la Secretaría de Salud
- ROBERTO TAPIA CONYER, Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud
- OSCAR VELÁZQUEZ MONROY, Dirección de Información y Emergencias Epidemiológicas de la Secretaría de Salud.

About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution.

Errata

MEXICO CITY'S WATER SUPPLY

Improving the Outlook for Sustainability

English, Page 49. The last sentence on this page and part of the next sentence of the following page were cut off. It should be corrected to read:

Giardia infections in young children are likewise a problem and are highly prevalent in poor areas of Mexico City (Marrow et al., 1992). Other protozoa parasites of concern that have been documented in Mexico City include *Balantidium coli*, *Naegleria fowleri*, and species of *Acanthamoeba* (Rivera et al., 1978; 1983; 1984; 1986).

English, Page 90 and Spanish, Page 96. The corrected reference for Crane, R. 1994 is:

Crane, R. 1994. Water markets, market reform, and the urban poor: Results from Jakarta, Indonesia. *World Development* 22(1):71–83.