

01178



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA

"COMPARACION ENERGETICA DE LAS OPCIONES
PARA EL SUMINISTRO DEL AGUA A LA ZONA
METROPOLITANA DEL VALLE DE MEXICO"

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
MAESTRO EN INGENIERIA ENERGETICA
P R E S E N T A :
VICTOR HUGO HERNANDEZ GOMEZ

276134



DIRECTOR DE TESIS: DRA. BLANCA E. JIMENEZ CISNEROS

MEXICO, D. F.

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A la Dra. Blanca E. Jiménez Cisneros le agradezco por dirigir mi trabajo final, así como las asesorías brindadas para el buen curso de la misma. Además, porque siempre me apoyó y brindó su amistad durante el transcurso de la maestría.

Agradezco a la Comisión Nacional del Agua por las atenciones que tuvieron para la realización del trabajo, en especial al Ing. Francisco Gómez Cárdenas, quién asesoró y colaboró en la recolección de datos.

Agradezco a todos los profesores que me impartieron sus conocimientos durante mi estancia en el posgrado, en especial al Dr. David Morillón quien además de brindarme su amistad me orientó en la realización del trabajo.

Agradezco a mis padres, Alberto D. y Rosa Ma., por darme siempre su cariño, guiarme en toda mi vida, apoyándome y dándome aliento. Les agradezco la oportunidad que me brindaron para conseguir otra de mis grandes metas.

Agradezco a mi familia, Camilo G., Margarita Gtz., Paty, Javier, Leo, Karen, Diana, Magaly, Pepe y Alex ; a mis amigos, Margarita R., Margarito, Yadira, Sandra, David P., y a todos mis tíos por el cariño amistad y apoyo que siempre me han brindado.

Yazmín, te agradezco todo el cariño y amor que me das, todo el apoyo que me diste durante mi formación y sobre todo por estar conmigo, en las buenas y en las malas. Siempre cuento con tigo.

Y sobretodo te agradezco Dios por darme la alegría de tener a todas estas personas junto a mí y de darme la oportunidad de terminar otra etapa de mi vida. Gracias por acompañarme siempre y guiarme. Gracias por estar siempre conmigo.

Víctor Hugo Hernández Gómez

RESUMEN

El agua es una sustancia vital sin la cual el Hombre no puede sobrevivir, por tal motivo siempre busca formas para tener un suministro seguro. Un ejemplo de ello es el Valle de México, el cual actualmente es abastecido por fuentes internas y externas que cubren una demanda promedio de $65 \text{ m}^3/\text{s}$. Como fuentes externas se tiene el sistema Cutzamala, aportando $14.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y vence una carga de 1100 m para recorrer una distancia de 127 km y el sistema Lerma, el cual suministra $5.9 \text{ m}^3/\text{s}$ y vence una carga de 123 m para recorrer una distancia de 57.3 km. Las fuentes internas básicamente son dos: un sistema de pozos ($43.4 \text{ m}^3/\text{s}$) y los aprovechamientos superficiales ($1.2 \text{ m}^3/\text{s}$). Debido al constante crecimiento de la población, se estima que en los próximos 10 años (estudios del Instituto de Ingeniería) la demanda aumentará en $9 \text{ m}^3/\text{s}$, los cuales tendrán que provenir de fuentes externas para evitar hundimientos dentro del Valle, Para esto la Comisión Nacional del agua ha planteado diversos proyectos pero han sido descartados por varias razones, como la falta de agua en la zonas aledañas a la fuente, problemas políticos, consideraciones sociales, etc., Las principales propuestas son: Temascaltepec con $5 \text{ m}^3/\text{s}$ que requiere un sistema de bombeo para vencer una carga de 1570 m y recorrer una distancia de 142 km de longitud; El Amacuzac con $13.5 \text{ m}^3/\text{s}$ donde se vencería una carga de 1700 m; y El Tecolutla I con $9.8 \text{ m}^3/\text{s}$ donde el bombeo vencería una carga de 1266 m para recorrer una distancia de 143 km. También se tiene contemplado reusar las aguas negras del Valle de México para obtener $7.4 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua para consumo humano pero desgraciadamente el tipo de tecnología por emplear es muy costosa.

El Instituto de Ingeniería ha elaborado una alternativa adicional que es captar el agua subterránea de la cuenca del Valle del Mezquital. Se podrían transportar $7 \text{ m}^3/\text{s}$,

lo que representa 62 km de longitud y una carga de 323 m. Dentro de este esquema se seguiría enviando el agua negra al Valle del Mezquital para su uso en riego pero después de un tratamiento para cumplir con la NOM 001 ECOL 96 donde probablemente fuera lo más recomendable emplear luz ultravioleta para la desinfección en lugar de cloración. Como esta agua se infiltra al acuífero, se continua depurando por la tierra ahorrando parte del proceso de afinación. Posteriormente al agua almacenada en el acuífero sería extraída y potabilizada mediante un proceso de nanofiltración para eliminar el exceso de sales antes de la desinfección residual.

En este trabajo mediante un análisis realizado a las opciones de abastecimiento de agua antes mencionados, se pudo tener una idea muy clara del costo para cubrir la demanda futura de suministro con agua potable para la ciudad. Dichos costos incluyen sólo tres rubros: inversión, potabilización y consumo energético por bombeo y no consideran factores como el costo social, el ecológico, etc. Dichos costos se muestran en la tabla 1, así como el caudal que manejan y el tipo de proceso de potabilización por emplear.

Como se observa, el costo de los sistemas que recuperan agua del subsuelo del propio Valle de México es muy económico debido a que sólo se basa en la adición de cloro para su desinfección. En el caso de los sistemas que captan el agua de ríos, lagos, etc., el proceso de potabilización resulta más caro pero no deja de ser atractivo para proyectos futuros. En cambio, el costo de tratar agua negra para consumo humano es casi 7.9 veces el de Tezontepec, debido a los contaminantes que contiene. El proyecto Tezontepec, o sea del agua del acuífero del Valle del Mezquital aun cuando dar un tratamiento al agua negra de la ciudad de México para cumplir con la normatividad y posteriormente potabilizar el agua después de usada en riego agrícola constituye una fuente futura de abastecimiento de agua atractiva. Por otra parte, cabe recordar que el sistema Cutzamala es el que actualmente tiene una mayor demanda energética.

Tabla 1. - Resumen de costos.

ESTADO	UBICACION	FUENTE	CAUDAL m ³ /S	INVERSION Millones de pesos	PROCESO	COSTO \$/m ³ BOMBEO	COSTO \$/m ³ TRATAMIENTO	COSTO \$/m ³ INVERSION ^d	COSTO \$/m ³ TOTAL
OPERANDO	EXTERNO	CUTZAMALA	14.5	14,250	1	2.10	0.160	3.885	6.145
		LERMA	5.9	-	2	0.278	0.053	-	-
	INTERNO	SUPERFICIE	1.2	-	1	0	0.160	-	-
		POZOS	43.4	-	2	0.495	0.053	-	-
PROYECTOS	CNA	TEMASCALTEPEC	5	3,371.25	1	2.99	0.160	2.654	5.804
		AMACUZAC	13.5	15,098.22	1	4.01	0.160	4.403	8.573
		TECOLUTLA I	9.8	8,954.254	1	4.74	0.160	3.597	8.497
	OTROS	AGUAS NEGRAS	7.4	2,422.015	4	0	8.87 ^B	0.951	9.821
	INSTITUTO	TEZONTEPEC	7	1,753.254	3	0.71	0.36 ^C + 0.76 ^C	0.660	2.49

1. Floculación, sedimentación, filtración y cloración.

2. Cloración.

3. Nanofiltración y cloración.

4. Tratamiento primario, secundario, terciario y cloración.

A Cálculo realizado con una tasa de descuento del 12 % anual y 30 años de vida útil.

B Costo aproximado de 0.905 USD/m³ por tratamiento biológico más los tratamientos del punto 4.

C Costo aproximado de 0.072 USD/m³ por desinfección con luz ultravioleta y 0.05 \$/m³ por cloración.

D Costo aproximado de 0.031 USD/m³ por desinfección con nanofiltración y 0.05 \$/m³ por cloración.

Tipo de cambio de 9.80 pesos por dólar.

El proyecto de Tezontepec presenta un costo menor al resto, debido a que el agua se encuentra a una menor distancia en longitud y altitud de la ciudad de México, requiriendo por ello bombas de menor capacidad. Como se observa, en la mayoría de los casos es el costo de inversión el que más influye dentro del costo total, seguido del costo por bombeo y por último el del tratamiento de agua.

Basándose en lo anterior, se puede concluir que el proyecto Tezontepec es una alternativa factible para el suministro del agua a la ZMVM, especialmente conveniente para el suministro a la zona nor - oriente (de mayor crecimiento en el futuro), con el cual se podría abastecer alrededor de 2,177,778 habitantes de los 2,800,000 esperados, es decir, el 78%. Además con este proyecto se lograría un mayor control del problema de contaminación del agua, suelos, habitantes y cultivos del Valle del Mezquital.

Nombre de la tesis:

Comparación energética de las opciones para el suministro del agua a la Zona Metropolitana del Valle de México.

Objetivo:

Comparar las diferentes opciones de suministro de agua a la Zona Metropolitana del Valle de México, desde el punto de vista de los requerimientos energéticos para el transporte y del proceso de potabilización.

Asesora:

Dra. Blanca Jiménez Cisneros.

Autor:

Ing. Víctor Hugo Hernández Gómez.

ÍNDICE

	Pág.
Índice	II
Lista de tablas	V
Lista de figuras	VII
Lista de Ecuaciones	VIII
Notación	IX
Introducción	X
Capítulo 1: Antecedentes	1
1.1. Descripción del Valle de México	1
1.2. Fuentes de suministro	1
1.3. Infraestructura hidráulica	5
1.4. Calidad y normatividad	6
1.5. Problemas relacionados con el agua	9
1.5.1. Fugas	9
1.5.2. Hundimientos	9
Capítulo 2: Método para evaluar los sistemas de abastecimiento de agua	11
2.1. Método del trabajo	11
2.2. Cálculo de la altura y potencia de las bombas	12
2.3. Definición del sistema de potabilización del agua	14
2.4. Costos	23

ÍNDICE

Capítulo 3: Sistema Cutzamala	27
3.1. Descripción del sistema	27
3.1.1. Primera etapa	29
3.1.2. Segunda etapa	29
3.1.3. Tercera etapa	31
3.2. Sistema de tratamiento del agua	32
3.3. Sistema de bombeo	34
3.4. Costos	35
Capítulo 4: Sistema Lerma	37
4.1. Descripción del sistema	37
4.2. Sistema de tratamiento de agua	41
4.3. Sistema de bombeo	41
4.4. Costos	47
Capítulo 5: Fuentes superficiales	50
5.1. Descripción de las fuentes	50
5.2. Calidad del agua	57
5.3. Costos	64
Capítulo 6: Fuentes subterráneas	66
6.1. Descripción de las fuentes	66
6.2. Calidad del agua	72
6.3. Plantas de tratamiento municipales y de sistemas autónomos	76
6.4. Costos	81
Capítulo 7: Fuentes futuras	85
7.1. Descripción de los proyectos	85
7.2. Proyecto del Alto Río Tecolutla	86
7.3. Proyecto del Alto Río Amacuzac	87
7.4. Proyectos Oriental y Tula - Taxhimay	90
7.5. Proyecto Temascaltepec	91
7.6. Otros proyectos	95
7.7. Reúso de aguas negras de la ZMVM	96
7.8. Costos comparativos de los proyectos	99

ÍNDICE

Capítulo 8: Descripción de la cuenca del río Tula	103
8.1. Cuenca del Río Tula	103
8.2. Acuíferos dentro de la cuenca	106
8.3. El Valle del Mezquital	112
Capítulo 9: Valle del Mezquital, una nueva alternativa	125
9.1. Descripción del proyecto	125
9.2. Costo de bombeo	127
9.3. Costo de la potabilización	128
9.4. Costo de inversión	132
Capítulo 10: Análisis de Resultados	135
10.1. Método de comparación entre fuentes de abastecimiento	135
10.2. Comparación de los sistemas de abastecimiento de agua con base en el consumo de energía eléctrica por bombeo	135
10.3. Comparación de los sistemas de abastecimiento de agua en base al costo de potabilización.	138
10.4. Comparación de los sistemas de abastecimiento de agua presentes y futuros.	140
10.5. Comparación de los sistemas de abastecimiento de agua involucrando los costos de inversión.	141
10.6. Conclusión	142
Conclusiones	145
Apéndice 1	147
Apéndice 2	150
Bibliografía. Textos. Entrevistas. Páginas de Internet	152

LISTA DE TABLAS

	Pag
TABLA 1	Parámetros que contempla la NOM-127-SSA1-1994 que establece los parámetros máximos que debe contener el agua. 6
TABLA 2	Coefficientes de ponderación del ICA. 16
TABLA 3	Valores del ICA para consumo humano. 17
TABLA 4	Valores del índice de potabilidad. 23
TABLA 5	Clasificación de las tarifas eléctricas de CFE para bombeo. 25
TABLA 6	Tarifa eléctrica promedio anual para el año de 1998. 25
TABLA 7	Indices de costos de los sistemas de tratamiento. 26
TABLA 8	Costos de bombeo para el sistema Cutzamala 1998. 35
TABLA 9	Costos del sistema de Cutzamala. 36
TABLA 10	Ramales y circuitos del sistema Lerma. 38
TABLA 11	Especificaciones de los ramales del sistema Lerma. 39
TABLA 12	Pozos que forman el sistema Lerma. 42
TABLA 13	Potencia de estaciones de rebombeo y cárcamos del sistema Lerma. 47
TABLA 14	Costos de bombeo para el sistema Lerma 1998. 48
TABLA 15	Principales características Hidrográficas de la ZMVM. 56
TABLA 16	Inventario de presas en el Valle de México. 58
TABLA 17	Clasificación de la calidad del agua en las estaciones de monitoreo. 60
TABLA 18	Clasificación de las corrientes por sólidos suspendidos totales. 61
TABLA 19	Contaminantes principales. 62
TABLA 20	Procesos de tratamiento en plantas potabilizadoras. 64
TABLA 21	Resumen de plantas potabilizadoras. 65
TABLA 22	Acuíferos dentro de la región XIII del Valle de México. 71
TABLA 23	Numero de aprovechamientos por acuífero en el Valle de México. 72
TABLA 24	Uso de agua subterránea en el Valle de México. 72
TABLA 25	Calidad del agua de los pozos del Valle de México. 75
TABLA 26	Plantas de tratamiento municipales. 77
TABLA 27	Ramales del sistema Lerma. 81
TABLA 28	Características de los acuíferos. 83
TABLA 29	Costos de 1998 para los sistemas subterráneos. 83
TABLA 30	Rehabilitación de sistemas de tratamiento del Valle de México. 97

LISTA DE TABLAS (Continuación)

	Pág
TABLA 31	Proyectos para ampliar las plantas del Valle de México. 97
TABLA 32	Resumen de proyectos para la construcción de plantas de tratamiento en el Valle de México. 98
TABLA 33	Inversiones de proyectos futuros de abastecimiento de agua para el Valle de México. 99
TABLA 34	Costos anuales de operación y afectación de la energía eléctrica, usada en plantas de bombeo. 100
TABLA 35	Costos anuales de operación y afectación de la energía eléctrica, usada en plantas de bombeo en 1998. 101
TABLA 36	Costo anual por tratamiento del agua de proyectos para abastecimiento del agua al Valle de México. 102
TABLA 37	Costo total de proyectos de abastecimiento de agua al Valle de México. 102
TABLA 38	Principales características hidrológicas de la cuenca del Río Tula. 106
TABLA 39	Principales características del Río Tula. 110
TABLA 40	Número de aprovechamientos del acuífero del Río Tula. 110
TABLA 41	Uso del agua subterránea en la cuenca del Río Tula. 111
TABLA 42	Características de los acuíferos en Hidalgo. 111
TABLA 43	Costos de bombeo para los Sistemas Subterráneos en Hidalgo. 112
TABLA 44	Fuentes de abastecimiento por municipio en la cuenca del Río Tula 113
TABLA 45	Inventario de presas en la región de Tula. 118
TABLA 46	Fuentes de abastecimiento para la zona del Valle del Mezquital. 123
TABLA 47	Resumen del suministro de agua al Valle del Mezquital. 124
TABLA 48	Costos de 1998 para el proyecto Tezontepec. 128
TABLA 49	Características de las aguas de Tezontepec. 129
TABLA 50	Comparación del agua de Tezontepec con la norma en vigor. 131
TABLA 51	Costos del proyecto Tezontepec 133
TABLA 52	Resumen del Trabajo. 134
TABLA 53	Tarifas promedio anual de 1997. 148
TABLA 54	Indices de precios al consumidor 147

LISTA DE FIGURAS

	Pág
FIG. 1	2
FIG. 2	3
FIG. 3	4
FIG. 4	14
FIG. 5	19
FIG. 6	28
FIG. 7	30
FIG. 8	33
FIG. 9	49
FIG. 10	51
FIG. 11	59
FIG. 12	63
FIG. 13	63
FIG. 14	68
FIG. 15	82
FIG. 16	88
FIG. 17	93
FIG. 18	104
FIG. 19	107
FIG. 20	119
FIG. 21	126
FIG. 22	126
FIG. 23	136
FIG. 24	138
FIG. 25	140
FIG. 26	141
FIG. 27	142
FIG. 28	143

LISTA DE ECUACIONES

	Pág	
1	Potencia de bombeo.	12
2	Carga a vencer.	13
2a	Carga por fricción.	13
2b	Carga por accesorios.	13
3	Valor del ICA.	16
4	Indice de potabilidad.	18
5	Volumen de agua en una región hidrológica.	18
6	Ecuación 5 en términos de cantidad.	20
7	Potencial de uso.	21
8	Costo Nivelado.	24

INTRODUCCIÓN

NOTACIÓN

CNA	Comisión Nacional del Agua.
CFE	Comisión Federal de Electricidad.
CONAE	Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.
DDF	Departamento del Distrito Federal.
GRAVAMEX	Gerencia Regional de Agua del Valle de México.
DGCOH	Dirección General de Construcción y Operaciones Hidráulicas.
GAS	Gerencia de aguas subterráneas.
CHAVM	Comisión hidrológica de aguas del Valle de México.
CAVM	Comisión de aguas del Valle de México.
H	Carga, m.
Z	Altura, m.
W	Potencia, Hp o kW.
Q	Caudal, m ³ /s.
F	Factor de fricción.
L	Longitud, m.
V	Velocidad, m/s.
D	Diámetro de tubería, m.
G	Gravedad, 9.81 m/s ² .
K	Coefficiente de rugosidad del material.
γ	Peso específico, 9810 N/m ³ .
I_i	Índice de calidad para el parámetro i.
W_i	Coefficiente de ponderación del parámetro i.
N	Número de parámetros.
(i)	Región en donde se lleva a cabo el balance.
(i-1)	Regiones que descargan dentro de la región i.
S_{i(i-1)}	Volumen en exceso de otras regiones que fluyen dentro de i.
T_(i-1)	Transferencia de volúmenes de agua de otras regiones a la región i.
T(i)	Transferencia realizada de la región i, hacia otras regiones como un resultado de previas investigaciones.
CP(i)	Volumen generado en cada región i.
D_{K(i)}	Demanda de uso K en la región i.
R_{K(i)}	Flujos retornantes correspondientes al uso K en una región i.
N	Número de parámetros en la región.
RN(i)	Criterio usado para comparar el significado del valor del parámetro i del valor establecido.
VPC	Valor presente de los costos del proyecto.
PT	Volumen de agua manejado en el periodo T.
CN	Costo nivelado en \$/m ³ .

INTRODUCCIÓN

El agua es el principio y el sostén de la vida. Los científicos se han puesto de acuerdo en que en ella se originó la vida, aunque paradójicamente también la puede quitar, como pasa cuando ocurren sequías o inundaciones. El agua es una sustancia vital, sin la cual, el hombre no puede sobrevivir. No sólo se usa para fines municipales, sino también en diversos procesos tanto de la industria como de la agricultura. Por eso, en todo el mundo se buscan formas para abastecerse: unos utilizando tecnologías nuevas y otros adaptando la poca que tienen. Un caso particular es el suministro del agua al Valle de México, que por el tamaño de la población y su localización geográfica, se compone de los sistemas Lerma y Cutzamala como fuentes externas y con los pozos y aprovechamientos superficiales como fuentes internas. La principal fuente de suministro es la subterránea. Debido a que la población está en constante crecimiento se ha sobreexplotado el acuífero ocasionando que se deteriore la calidad del agua, que no se recupere el nivel freático y existan severos hundimientos diferenciales en la Ciudad de México.¹ Se estima que para el 2010 habrá en el Valle 21 millones de habitantes, de los cuales, el 58 % se ubicará en el Estado de México y el 42 % restante en el DF; la demanda de agua sufrirá un incremento del 14 % (2,800,000 habitantes), es decir casi 9 m³/s, que en la situación actual no podrán ser suministrados. Además, es muy probable que dado el crecimiento de la mancha urbana, esta demanda ocurra al norte de la sierra de Guadalupe y al oriente del Lago de Texcoco.

¹ Según el DDF, la Ciudad se hunde de 10 a 30 cm por año, dependiendo la zona.

INTRODUCCIÓN

Por esta razón, será necesario traer más agua de otros lugares fuera de la Ciudad, provocando una gran desventaja: los sistemas externos necesitan una gran capacidad de bombeo o de rebombeo, por lo que sus costos de infraestructura y operación son muy elevados. Por tal motivo, el agua se tornará en un artículo precioso y será necesario buscar fuentes de abastecimiento cuyo costo sea menor.

Debido a esto, el presente trabajo plantea una alternativa original: traer el agua desde Tezontepec situado en el Valle del Mezquital. Sin meterse en cálculos, se puede suponer que el costo de bombeo es menor al de las otras opciones, ya que se encuentra más cercano al Valle de México. Esta agua es producto de la filtración de las aguas negras del Valle de México al acuífero, por lo que es una opción poco común de reúso. Se estima que se puede usar parte de ella sin invertir el costo total de potabilizar el agua negra, pues se emplea al suelo y a la vegetación como mecanismo parcial de depuración.

En efecto, de los $38 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua negra utilizados para el riego de la zona del Mezquital, aproximadamente $25 \text{ m}^3/\text{s}$ se infiltran al acuífero lo que equivale de 10 a 15 veces la recarga natural. Parte del tratamiento del agua (la depuración y parte del acondicionamiento específicamente) es efectuado sin costo alguno por el suelo y la cubierta vegetal. Esta situación traería la ventaja de evitar la sobrecarga del acuífero del Valle del Mezquital, ubicado a 50 km y 250 m por debajo del Valle de México y se gastaría menos en el tratamiento del agua para un segundo uso. En efecto, a principios del siglo el nivel del agua subterránea en Hidalgo se encontraba a más de 50 m de la superficie. Actualmente, como consecuencia de la infiltración, han aparecido varios pozos artesianos con caudales que van de 0.1 a $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$. En cuanto a la calidad del

INTRODUCCIÓN

agua, la CNA (Comisión Nacional del Agua), el British Geological Survey y el Instituto de Ingeniería, han realizado estudios que parecen fundamentar la idea que es una fuente posible de abastecimiento, si se instala tecnología convencional de bajo costo para la potabilización.²

Con base en lo anterior se propone como objetivo del trabajo comparar las fuentes de abastecimiento futuras de la ZMVM, básicamente en lo que concierne al costo por consumo de energía utilizada para su transporte, así como los derivados de la potabilización, para de esta forma establecer si el proyecto es viable.

Para realizar el trabajo se usó la metodología siguiente: se revisó cuál es la demanda y cuáles son las fuentes posibles de abastecimiento. Se analizó sistema por sistema; para ello se investigó cómo son, donde están y cómo funcionan. Se determinaron sus costo de bombeo y potabilización.

Por tal motivo, en el capítulo 1 se presenta una visión global del complejo manejo hidráulico del Valle de México, en el capítulo 2 se habla de los métodos que se emplean para obtener los costos del transporte y del proceso de potabilización del agua. En los capítulos 3 al 6 se describen uno a uno los sistemas de suministro en operación y se presentan los costos por metro cúbico del consumo energético, potabilización e inversión. En el capítulo 7 se presentan los proyectos que tienen planteadas las autoridades encargadas del suministro de agua al Valle de México. En el capítulo 8, se describe la Cuenca del río Tula, donde se encuentra el Valle del Mezquital. En el capítulo 9 se presenta la descripción de la alternativa propuesta, el cálculo de la

² Los problemas encontrados son un incremento en la salinidad y un deterioro de la calidad microbiológica, debidos a la incorrecta construcción de los pozos, al lavado de los suelos de la región y a las descargas salinas del ex lago de Texcoco.

INTRODUCCIÓN

potencia de bombeo necesaria para traer el agua hasta el Valle de México, así como sus costos y la selección del sistema de potabilización basándose en la calidad actual del agua y su comparación con la norma NOM-127-SSA1-1994, junto con los costos de operación e inversión. Por último, en el capítulo 10 se comparan las fuentes de abastecimiento de agua de acuerdo a los costos encontrados en el trabajo.

Para encontrar la altura, la potencia eléctrica de las bombas y el sistema de tratamiento, se consultaron los cuadernillos informativos de los diferentes sistemas. Se visitó el sistema Cutzamala, a la CNA, al DDF y a la Gerencia Regional del agua del Valle de México, (GRAVAMEX); además de buscar información tanto en bibliotecas como en Internet.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES.

En este capítulo se describe brevemente la situación del Valle de México, las fuentes de agua que lo abastecen y su localización. Además, se presenta el concepto legal del agua potable y se menciona algunos problemas en relación con el suministro de agua.

1.1. Descripción del valle de México

El Valle de México se encuentra localizado al sur del altiplano mexicano, a una altura media de 2240 msnm y está limitado por: las sierras de Tepotzotlán, Tezontlalpa y Pachuca al Norte; los llanos de Apan y la Sierra Nevada al Este; las Sierras de Chichoanautzin y del Ajusco al Sur; y las Sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte bajo al Oeste. Tiene una superficie aproximada de 9600 km², de las cuales el 30% es plana. En la figura 1, se muestra la localización del Valle así como los estados que lo forman.

1.2. Fuentes de suministro.

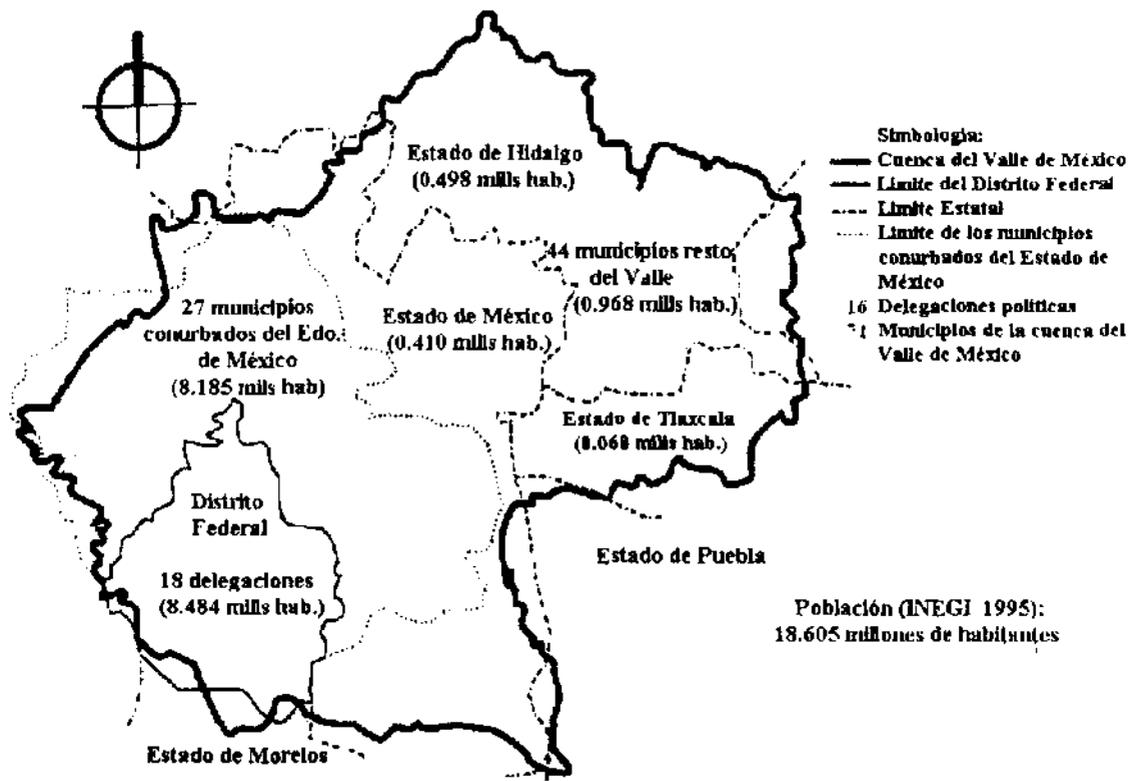
El Valle de México, cuenta con una gran cantidad de subcuencas³, de las cuales sus aguas son aprovechadas para consumo doméstico, comercial e industrial. Por

³ Se hablará de ellas más a fondo en el capítulo 6 "Fuentes Subterráneas".

CAPÍTULO 1

ejemplo, existe el Sistema Necaxa que almacena agua para la generación eléctrica o la presa Guadalupe que se usa para riego.

Figura 1.- Localización del Valle de México



Los ríos principales de la cuenca del Valle de México son: El Churubusco, el Magdalena y el Mixcoac; el de la Piedad, el Consulado y el de los Remedios; el Hondo, Tlalnepantla y San Javier; y el río de las Avenidas de Pachuca. También existe un sistema de presas, de las cuales, las más importantes son las de: Anzaldo, Tetelpa y Tarango; los Vasos del Sordo, los Cuartos y Totolica; el Vaso de Cristo, las presas de

CAPÍTULO 1

las Julianas, los Arcos, el Colorado y la Colorada; la laguna de Zumpango, la presa Madín, las Ruinas y San Javier; y las presas de Guadalupe y la Concepción.

La mayoría de éstas se usan para fines agrícolas o como almacenamiento. Muy pocas, como la Madín y la potabilizadora Magdalena, abastecen de agua al Valle. En la figura 2, se muestran las fuentes de abastecimiento al Valle de México.

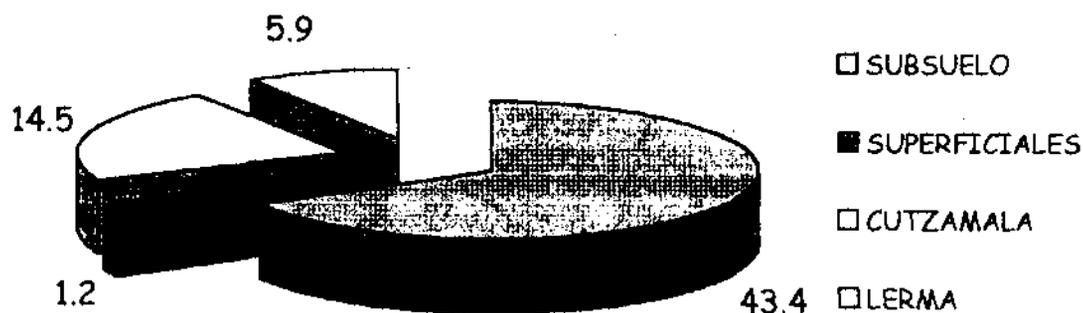
Figura 2.- Fuentes de abastecimiento de agua al Valle de México.



CAPÍTULO 1

Actualmente, se necesita satisfacer una demanda promedio de $65 \text{ m}^3/\text{s}$, incluyendo las fugas en la tubería. Dicha demanda la satisfacen: $43.4 \text{ m}^3/\text{s}$ del subsuelo del Valle de México; $14.5 \text{ m}^3/\text{s}$ del sistema Cutzamala; $5.9 \text{ m}^3/\text{s}$ del sistema Lerma; y $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ de aprovechamientos superficiales, mediante la presa Madín y manantiales dentro del propio Valle (abastecen a la potabilizadora Magdalena). Esto se puede apreciar en la figura 3.

Figura 3.- Abastecimiento de agua potable al Valle de México



Fuente: CNA, "Sistema Cutzamala, fuentes para millones de mexicanos". Revista informativa, 1997 Caudal en m^3/s . Valores promedio.

Las fuentes subterráneas, son pozos que se encuentran dentro del Valle (operados por la CNA y el DDF) y que por medio de bombas sacan el agua para abastecer las zonas en las cuales se encuentran localizadas. Estos pozos se clasifican de dos formas: los "Aislados", que abastecen al área industrial y los "Ramales", los cuales abastecen a la población de agua potable.

CAPÍTULO 1

Los ramales llevan el agua hasta un tanque de almacenamiento, donde se le hace el proceso de potabilización y como el agua que se extrae del subsuelo es de buena calidad, su tratamiento consiste únicamente en la adición de cloro.

A su vez, las fuentes superficiales se dividen en dos: internas y externas. Las internas las constituyen la presa Madín y la potabilizadora Magdalena, mientras que las externas están formadas por los Sistemas Cutzamala y Lerma y como esta agua es tomada de ríos no posee tan buena calidad como la de los pozos, por lo que el tratamiento consta de varias etapas como son: floculación, sedimentación, filtración y cloración.

1.3. Infraestructura Hidráulica

En el Valle de México existen 106 almacenamientos, entre lagos y embalses, con una capacidad total de 646.7 millones de m³. Estas estructuras tienen por objeto principal, adecuar la disponibilidad de agua, en tiempo y espacio, a las demandas de los diferentes usuarios.

Las presas se utilizan principalmente para riego, en menor escala para control de avenidas, en mínima proporción para el abastecimiento del agua potable y menor aún, para la generación de energía eléctrica. En muchas de éstas, una parte de la capacidad de almacenamiento se destina para control de avenidas, con el objeto de proteger tanto las propias estructuras como a desarrollos localizados aguas debajo de estos embalses. La construcción de presas para riego se inició desde principios del siglo y de 1950 a 1980 se incrementaron su número en poco más de cuatro veces.

CAPÍTULO 1

Referente a la seguridad de las presas, se encontró que existen en el Distrito Federal dos estructuras con un alto riesgo de falla (las presas Anzaldo y Pilares), cinco embalses en el Estado de México (las presas Guadalupe, Madín y Totolica, así como los vasos de Cristo y Fresnos) y siete almacenamientos en Hidalgo (las presas El Aguila, Almoloya, Endhó, Peña Alta, Requena, Taximay y Javier Rojo Gómez). La población total bajo riesgo es de 35,500 habitantes, por lo que deben tomarse medidas inmediatas. Posteriormente en el capítulo 5 en la tabla 16 se muestra el listado de las presas existentes y en la figura 11 se muestra su localización.

1.4. Calidad y normatividad.

La calidad del agua potable la impone la Secretaria de Salud por medio de la norma NOM-127-SSA1-1994, la cual señala los parámetros máximos que debe contener el agua. Dichos parámetros se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. - Parámetros que contempla la NOM-127-SSA1-1994 que establece los parámetros máximos que debe contener el agua.

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

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE Becquerel/L
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1.0

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE µg/L
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma - HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 - D	50.00
Plomo	0.025 mg/L
Sodio	200.00 mg/L

CARACTERÍSTICAS	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100mL 2UFC/100mL
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100mL Cero UFC/100mL

NMP, número más probable por 100mL.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE mg/L
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros	0.07
Sólidos disueltos totales	1000.00

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE mg/L
Sulfatos (como SO_4^{2-})	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.0
Cloro residual libre	0.2 - 1.50
Cloruros	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como $CaCO_3$)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Hierro	0.30
Fluoruros	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5 - 8.5

Fuente: Diario Oficial del jueves 18 de enero de 1996.

Una forma de evaluar la calidad del agua es por medio del ICA (Índice de calidad del agua), el cual indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como un valor relativo (en por ciento) a la del agua pura, así agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento y para el agua con excelentes condiciones, se tendrá un valor cercano al 100 por ciento. Otra forma de evaluar la calidad del agua, es por medio del índice de potabilización⁴, el cual contempla la cantidad de agua existente y el grado de potabilización.

⁴ B. Jiménez, H Garduño y R. Domínguez. 1998. "Water availability en Mexico considering quantity, quality and uses". Instituto de Ingeniería. UNAM.

1.5. Problemas relacionados con el agua.

1.5.1 Fugas.

Uno de los grandes problemas del abastecimiento de agua son las fugas. En efecto, se tiene una demanda de $38.6 \text{ m}^3/\text{s}$, pero para abastecerla se distribuyen $65 \text{ m}^3/\text{s}$ a la red, debido a que $26.4 \text{ m}^3/\text{s}$ se pierden por fugas. Esto significa que, aproximadamente el 40 % del agua suministrada a la red se desperdicia. De esta cifra, se estima que el 20 %, son fugas que ocurren en las tomas domiciliarias, es decir, en las conexiones de las tuberías de la red de distribución a la entrada de los domicilios. Estudios recientes realizados por el Departamento del Distrito Federal (DDF), dan una estimación de consumo por habitante de 200 L/día, ($2.3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$) incluyendo los usos no domésticos.

1.5.2. Hundimientos.

Como consecuencia de la sobreexplotación del acuífero, la Ciudad de México sufre de hundimientos que en algunas zonas alcanzan hasta 30 cm/año y que son más notorios en la zona centro, sur y oriente de la ciudad. Por tal motivo, es necesario traer agua de otros lados cuyos habitantes se ven privados de un líquido de valor potencial.

En cuanto a los métodos posibles para efectuar la recarga del acuífero, la falta de planeación para prever áreas para efectuarla por infiltración, han hecho que sea la inyección directa la opción más viable y por tanto se requiere tratar el agua a nivel potable.

CAPÍTULO 1

Se estima que para el año 2010 habrá en el Valle 21 millones de habitantes de los cuales, el 58 % se ubicará en el Estado de México y el 42 % restante en el DF, y demandarán un incremento del 14 %, es decir casi 9 m³/s, que en la situación actual, no se podrá suministrar.

Además, es muy probable que dado el crecimiento de la mancha urbana esta demanda ocurra al norte de la sierra de Guadalupe y al oriente del Lago de Texcoco (incremento en 2,800,000 habitantes), por lo que las nuevas fuentes de agua, cualesquiera que sean externas o de reúso, deberán considerar este factor.

CAPÍTULO 2

MÉTODO PARA EVALUAR LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.

En este capítulo se describen los métodos empleados para obtener la potencia de las bombas así como su costo. Se hace una explicación sencilla de la ecuación de Bernoulli, la cual se usó para obtener la carga que se tiene que levantar. Además, se menciona cómo determinar el costo de potabilización requerido a partir de la calidad del agua. También se menciona cómo se determinó el costo de la facturación energética por transporte.

2.1. Método del trabajo.

Para efectuar el análisis se deben encontrar varios datos, como son:

- La diferencia de alturas entre el sistema de abastecimiento y el Valle de México.
- La potencia de las bombas necesarias para llevar el agua al Valle de México.
- El costo de la electricidad usada para mover las bombas.
- El tipo de tratamiento de agua basándose en la calidad del agua.
- El costo del sistema de tratamiento de agua.

Dichos parámetros se pueden encontrar de dos formas:

CAPÍTULO 2

a) Por medio de una investigación bibliográfica y visitando los sistemas que ya se encuentran operando.

b) Con una estimación aproximada. Basada en el cálculo de la potencia de la bomba, la definición de la calidad del agua y la selección del tipo de sistema de potabilización y sus costos.

Para cumplir con la primera opción, se investigó en la CNA, en la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México (GRAVAMEX), en el DDF, en las propias instalaciones de los sistemas a evaluar, en bibliotecas, en páginas de Internet, bases de datos, etc.

Para efectuar la metodología señalada en el punto anterior tenemos:

- Cálculo de la altura y potencia de las bombas.
- Selección del sistema de potabilización del agua.
- Cálculo de costos.

2.2. Cálculo de la altura y potencia de las bombas.

La potencia de la bomba necesaria para elevar la carga H se puede calcular con la siguiente ecuación

$$W_{EJE} = HQ^3 \dots\dots\dots (1)$$

donde

W_{EJE} : Potencia en el eje de la bomba, W.

H: Carga a vencer, m.

Q: Gasto o caudal a transportar, m³/s.

CAPÍTULO 2

γ : Peso específico del agua, igual a 9810 N/m³.

Si se conoce la eficiencia de la bomba por emplear, se puede calcular la potencia necesaria dividiendo la potencia del eje entre la eficiencia de la bomba. El caudal se conoce, por lo que sólo se debe encontrar la carga a vencer H . Esta se calcula de la siguiente forma

$$H = H_F + H_S + Z_B - Z_A \dots\dots\dots (2)$$

y

$$H_F = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2a)$$

$$H_S = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2b)$$

donde

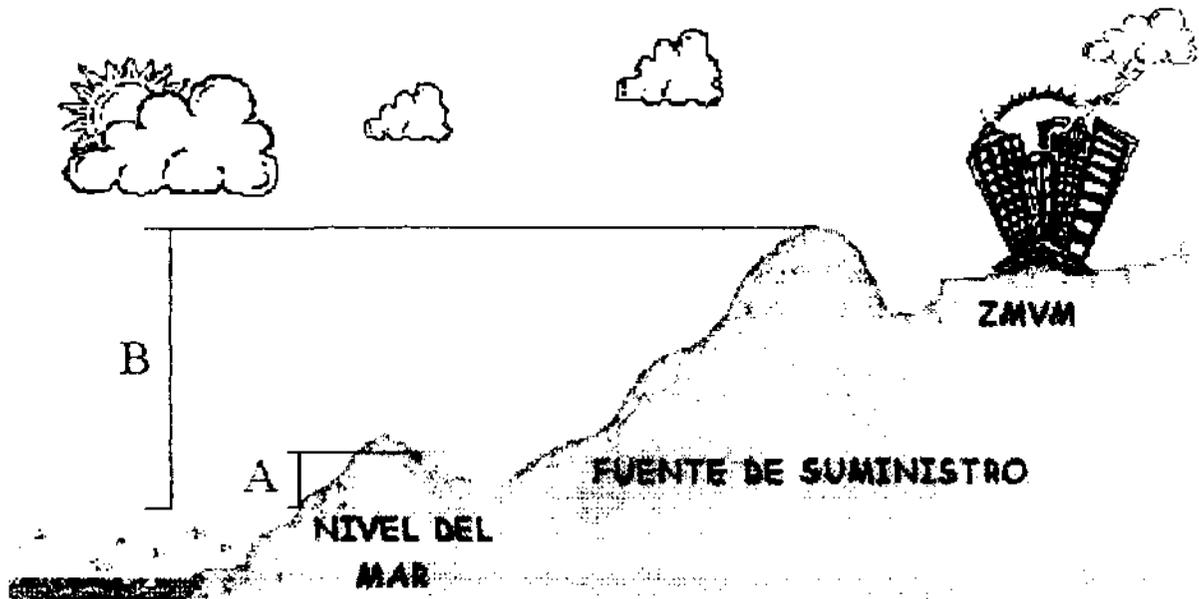
- H: Carga a vencer, m.
- H_F : Carga por fricción, m.
- H_S : Carga por accesorios, m.
- Z_A , y Z_B : Altura al nivel del mar, m.
- F: Factor de fricción.
- K: Coeficiente de rugosidad del material.
- L: Longitud de la tubería, m.
- D: Diámetro de la tubería, m.
- V: Velocidad del agua, m/s.

Para resolver la ecuación 2 es necesario conocer el área del tubo, la presión atmosférica y la altura con respecto al nivel del mar.

CAPÍTULO 2

Esta fórmula se planteó para el caso en que la zona donde existe el agua, se encuentra por debajo del Valle de México (como se muestra en la figura 4). En caso contrario, sólo se necesitan invertir los signos.

Figura 4.- Representación de la ecuación de Bernoulli.



2.3. Definición del sistema de potabilización del agua.

Para las fuentes en operación sólo se mencionará los valores del ICA para dar una idea de la calidad del agua, mientras que para determinar el tipo de sistema de potabilización en el caso del proyecto Tezontepec se compararán las características de una muestra de sus aguas con la norma NOM-127-SSA1-1994.

La calidad del agua se puede encontrar de dos formas: el ICA y el índice de disponibilidad. El ICA (Índice de calidad del agua), indica el grado de contaminación

CAPÍTULO 2

del agua a la fecha del muestreo y está expresado como un valor relativo (en por ciento) a la del agua pura, así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento y para el agua en excelentes condiciones, se tendrá un valor cercano al 100 por ciento. Son 18 los parámetros que se utilizan en la determinación del ICA y estos se clasifican en cuatro categorías, las cuales son:

- ❖ Materia orgánica presente, medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y en forma indirecta por el contenido de oxígeno disuelto (OD). Ambos parámetros no los contempla la norma de agua potable.
- ❖ Organismos bacterianos, medida como coliformes fecales (CF) y totales (CT).
- ❖ Materia iónica, medida por la alcalinidad (A), dureza, cloruros (CL), conductividad eléctrica (CE), concentración de iones hidrógeno (pH), grasas y aceites, sólidos suspendidos (SST), sólidos disueltos (SD), nutrientes, nitrógenos en forma de nitratos (NO_3), amoníaco (NH_4) y fosfato en forma de otros fosfatos (PO_4) y detergentes (D).
- ❖ Finalmente, las características físicas medidas por medio del color y la turbiedad (T).

El OD y la DBO, son los parámetros de mayor peso en el valor del ICA. En la tabla 2, se presentan los coeficientes de ponderación de cada parámetro.

La metodología para determinar el ICA es la siguiente:

CAPÍTULO 2

Primero, se determina el índice de calidad de cada uno de los parámetros, para la cual se utilizan las ecuaciones de la tabla 2.

Tabla 2. - Coeficientes de ponderación del ICA.

PARÁMETRO	FÓRMULA	UNIDAD
Potencial Hidrógeno pH	$I_{pH} = 10^{0.23359pH+0.44}$ $I_{pH} = 100$ $I_{pH} = 10^{4.22-0.293pH}$	Si $pH < 6.7$ Si $6.7 \geq pH \leq 7.3$ Si $pH > 7.3$
Color, C	$I_c = 123 (C)^{-0.296}$	Unidades platino-cobalto, Pt-Co
Turbiedad, T	$I_t = 108(T)^{-0.178}$	Unidades de turbiedad Jackson UTJ
Grasas y aceites, GA	$I_{ga} = 87.25(GA)^{-0.298}$	Miligramos por litro, mg/L
Sólidos suspendidos, SS	$I_{ss} = 266.5(SS)^{-0.37}$	Miligramos por litro, mg/L
Sólidos disueltos, SD	$I_{sd} = 109.1-0.0175(SD)$	Miligramos por litro, mg/L
Conductividad eléctrica, CE	$I_{ce} = 540(CE)^{-0.379}$	Micro siemens por centímetro, mS/cm
Alcalinidad, A	$I_a = 105(A)^{-0.186}$	Miligramos de carbonato de calcio por litro, mg CaCO ₃ /L
Dureza total, D	$I_d = 10^{1.974-0.00174D}$	Miligramos de carbonato de calcio por litro, mg CaCO ₃ /L
Nitrógeno de nitratos, NO ₃	$I_{NO_3} = 162.2(NO_3)^{-0.343}$	Miligramos por litro, mg/L
Nitrógeno amoniacal, NH ₃	$I_{NH_3} = 45.8(NH_3)^{-0.343}$	Miligramos por litro, mg/L
Fosfatos totales, PO ₄	$I_{PO_4} = 34.215(PO_4)^{-0.46}$	Miligramos por litro, mg/L
Cloruros, Cl	$I_{Cl} = 121(Cl)^{-0.223}$	Miligramos por litro, mg/L
Oxígeno disuelto, OD	$I_{od} = ((OD)/(\%Odsat))^*100$	100 miligramos por litro, mg/L
Demanda Bioquímica de oxígeno, DBO	$I_{dbo} = 120(DBO)^{-0.573}$	Miligramos por litro, mg/L
Coliformes totales, CT	$I_{ct} = 97.5(CT)^{-0.27}$	Número más probable en 100 mililitros, NMP/100mL
Coliformes fecales, CF	$I_{cf} = 97.5(F)/(CF)^{-0.27}$	Número más probable en 100 mililitros, NMP/100mL
Detergentes, DE. Sustancias activas al azul de metileno, SAAM	$I_{sa} = 100 - 16.678 (DE) + 0.1587(DE)^2$	Miligramos por litro, mg/L

Segundo, ya con los índices encontrados, se calcula el ICA con la siguiente ecuación

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \dots\dots\dots (3)$$

CAPÍTULO 2

donde

I_i : Índice de calidad para el parámetro i .

W_i : Coeficiente de ponderación del parámetro i .

N : Número de parámetros.

Por último, el valor numérico del ICA; se compara con los criterios generales de calidad del agua establecidos, de acuerdo al uso que se le da al recurso, en este caso, los criterios para el abastecimiento de agua para consumo humano, se encuentran en la tabla 3.

Tabla 3. - Valores del ICA para consumo humano.

ICA	CONDICIÓN
90 - 100	Excelente. No se requiere purificar para consumo.
80 - 90	Aceptable. Requiere purificación menor.
70 - 80	Levemente contaminado. Dudoso consumo sin purificar.
50 - 70	Contaminada. Se necesita tratamiento de potabilización.
40 - 50	Fuertemente contaminada. Dudosa para su consumo.
0 - 40	Excesivamente contaminada. Inaceptable para consumo.

El ICA, en términos generales, está caracterizado por la utilización de un limitado y específico número de parámetros de peso con pocas bases de física, química o biología. Por tal motivo, es poco preciso por lo que se propone el segundo método Índice de Potabilidad "AI" del agua.⁵

⁵ B. Jiménez, H Garduño y R. Domínguez. 1998. "Water availability en Mexico considering quantity, quality and uses". Instituto de ingeniería, UNAM, México.

CAPÍTULO 2

Este índice, consta de dos términos: a, el cual indica la cantidad de agua existente y b, que da idea del grado de tratamiento requerido para lograr la calidad del agua deseada.

El término b, es determinado basándose en otro índice conocido como "Potencial de Uso UP". Dicho índice, menciona cuál es el grado y el porque el agua no cumple con los requerimientos estándar de calidad, para un uso determinado.

La forma de calcular al AI es la siguiente:

$$AI = (a, b) \dots\dots\dots (4)$$

donde

a: Disponibilidad del agua de una cierta región hidrológica.

b: Clasificación del agua en términos de tratamiento requerido, para alcanzar la calidad necesaria para un uso determinado.

El parámetro a es calculado basado en la figura 5, de la cual se establece que:

$$S(i) = \sum_i S(i-1) + T(i-1) + CP(i) - \sum_k D_k(i) - T(i) + \sum_k R_k(i) \dots\dots\dots (5)$$

donde:

(i) = Región en donde se lleva a cabo el balance.

(i-1) = Regiones que descargan dentro de la región i.

$S(i-1)$ = Volumen en exceso de otras regiones que fluyen dentro de i.

CAPÍTULO 2

$T(i-1)$ = Transferencia de volúmenes de agua de otras regiones a la región i .

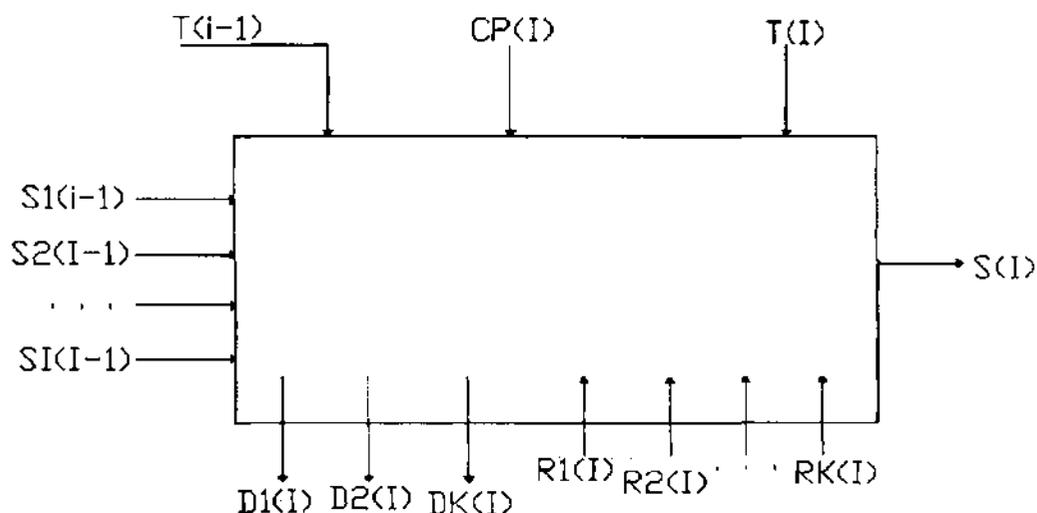
$T(i)$ = Transferencia realizada de la región i , hacia otras regiones como un resultado de previas investigaciones.

$CP(i)$ = Volumen generado en cada región i .

$D_K(i)$ = Demanda de uso K en la región i .

$R_K(i)$ = Flujos retornantes correspondientes al uso K en una región i .

Figura 5. - Diagrama hidráulico usado para determinar el parámetro a



Para trabajar con la ecuación 5, se tienen que tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Aplicado a altas - bajas corrientes de flujo, así como en la primera región $(i-1)$ y $S(i-1) = 0$.

- Las demandas de potencia hidráulica no se incluyen, para tal caso es supuesto que $D_K = R_K(i)$ para toda K .

CAPÍTULO 2

- CP(i) incluye superficies del desagüe y la recarga de aguas subterráneas debido a la lluvia. La evaporación de depósitos de agua es calculada como evaporación menos la lluvia.

- Si la demanda y los flujos retornables no son medidos, la demanda es estimada a través de los requerimientos de irrigación de cosechas y los de abastecimiento de agua por habitante; y los flujos retornables son estimados con porcentajes de retorno.

La ecuación 5 expresada en términos de cantidad es la siguiente:

$$Pa(i) = \frac{S(i) + \sum_k D_k(i)}{D_k(i)} \dots\dots\dots (6)$$

Para propósitos prácticos, se puede asumir que los valores de Pa(i), están cerca de 1.0 (entre 0.7 y 1.4), es decir, el abastecimiento está en equilibrio con la demanda. Entonces:

$Pa(i) \geq 1.4$ hay una abundante abastecimiento y $a = 1$.

$0.7 \leq Pa(i) < 1.4$ el abastecimiento esta en equilibrio con la demanda y $a = 2$.

$Pa(i) < 0.7$ abastecimiento es escaso y $a = 3$.

Para el caso de b, se necesita calcular el UP, es decir, buscar el valor estándar el cual define la calidad del agua, para cada uso en particular.

CAPÍTULO 2

El valor calculado (MV) para cada parámetro i , se sustrae del valor estándar (SV). Para normalizar las diferencias $RN(i)$ entre los valores estándar y el valor calculado de todos los parámetros, se establecen los siguientes criterios:

- $MV(i) \leq SV(i)$ Cuando $SV(i)$ refiere a un máximo valor admisible, $RN(i)$ es definido como 1.

- $MV(i) \leq SV(i)$ Cuando $SV(i)$ refiere a un mínimo valor admisible, $RN(i)$ es definido como $SV(i)/MV(i)$.

- $MV(i) > SV(i)$ Cuando $SV(i)$ refiere a un máximo valor admisible, $RN(i)$ es definido como $MV(i)/SV(i)$.

- $MV(i) > SV(i)$ Cuando $SV(i)$ refiere a un mínimo valor admisible, $RN(i)$ es definido como 1.

- $MV(i) > 0$ y $SV(i)$ puede ser quitado (cero), $RN(i)$ es $MV(i)$.

El valor del índice UP se obtiene de:

$$UP = \frac{1}{n} \sum_n RN(i) \dots\dots\dots (7)$$

donde

n : Número de parámetros en la región.

$RN(i)$: Criterio usado para comparar el significado del valor del parámetro i del valor establecido.

CAPÍTULO 2

Estos resultados pueden ser interpretados como:

A) $UP=1$ Significa que, de acuerdo con la información, la calidad del agua es adecuada para el uso particular.

B) $UP>1$ Significa que el agua no alcanza a tener la calidad necesaria. Lo alto de su valor es lo que varía de las condiciones requeridas.

De acuerdo a esto, el valor de b se le asigna de la siguiente manera:

$B=1$ Si el agua cumple con la calidad requerida en su condición natural ($UP=1$) y no necesita tratamiento.

$B=2$ Si el tratamiento es simple y económico (como filtrado), dependiendo de los parámetros que causen la desviación del UP .

$B=3$ Si el costo del tratamiento es elevado (como ósmosis inversa), también depende de los parámetros que causen la desviación de la UP .

Finalmente, cantidad y calidad se integran en el índice de disponibilidad para un uso particular de una determinada región.

La forma en que quedaría representado el índice de potabilidad, se puede ver en la tabla 4.

Tabla 4.- Valores del Índice de Potabilidad.

Cantidad (a)	Calidad (b)		
	Adecuado 1	Simple tratamiento 2	Costoso tratamiento 3
1 Abundante	11	21	31
2 Equilibrio	12	22	32
3 Escaso	13	23	33

Una vez conocido el sistema de tratamiento necesario, se procede a calcular los costos.

2.4. Costos.

Para determinar el costo de la factura energética por transporte se realizó el siguiente procedimiento:

→ Primero, se calculó la potencia total de las bombas de cada sistema expresado en KW.

→ Segundo, se estimó el tiempo que operan dichas bombas y así estimar los KWH mensuales aproximados del sistema.

→ Tercero, con la tarifa eléctrica de Comisión Federal de Electricidad (CFE) se obtuvieron los costos de la facturación energética por bombeo.

CAPÍTULO 2

→ Por último, se sumaron los costos mensuales (para encontrar el costo anual) y por medio del método del "costo nivelado", se calculó el costo unitario de proveer agua potable a la ZMVM, desglosado en tres rubros: inversión bombeo y potabilización.

Dicho método consiste en obtener un costo promedio de la unidad de producción del proyecto, es decir $\$/m^3$, considerando el valor del dinero en el tiempo. Para determinarlo es necesario conocer los m^3 manejados por las bombas de los sistemas de tratamiento. Este costo se obtiene de la siguiente relación:

$$CN = VPC / [\sum (P_T) (1+i)^{-T}] = (VPC / VPP) \dots\dots\dots (8)$$

Donde

VPC: Valor presente de los costos del proyecto.

PT: Volumen de agua manejado en el periodo T.

CN: Costo nivelado en $\$/m^3$.

El VPP es el valor presente del volumen de agua manejada en el proyecto y no tiene significado físico. Esto se llevó a cabo con una tasa de descuento del 12% anual en términos reales (por encima de la inflación) y considerando una vida útil de 30 años. Este análisis tomó en cuenta que los precios varían con el tiempo al mismo ritmo de la inflación por lo que se manejó moneda constante.

La tarifa actual de CFE, para los sistemas de bombeo, se pueden clasificar (dependiendo de la demanda requerida) en tres, las cuales se muestran en la tabla 5.

En el caso del Sistema Cutzamala y en el de los pozos internos del Valle, la CNA proporcionó los volúmenes de agua manejados por los sistemas.

CAPÍTULO 2

Tabla 5.- Clasificación de las tarifas eléctricas de CFE para bombeo.

TARIFA	APLICACIÓN
6	Servicio para bombeo de aguas potables o negras, de servicio público. Aplicable a abastecimientos superficiales y subterráneos. Solo se cobra el consumo.
O-M	Tarifa ordinaria para servicio general en media tensión con demanda menor a 300 KW. Aplicable para el sistema Lerma. Se cobra consumo y demanda máxima.
H-M	Tarifa horaria para servicio general en media tensión, con demanda mayor de 300 KW. Aplicable para el sistema Cutzamala. Se cobra consumo y demanda facturable.

Fuente: CONAE. www.conae.gob.mx. Tarifas actuales.

La tarifa 6 aumenta en 1.2 % mensual acumulativo, según el decreto del 30 de diciembre de 1997, por lo que se pueden proyectar las tarifas al año de 1998. La O - M y H - M varían dependiendo del índice de inflación y de los precios de los combustibles. Debido a que 1998 fue un año muy bajo para el precio de los combustibles y este es un análisis a futuro, fue necesario encontrar una tarifa equivalente que representara más adecuadamente la tarifa promedio que se espera para el periodo mencionado. Como la diferencia entre las tarifas mensuales es despreciable se puede utilizar una tarifa promedio anual. La forma en la que se obtuvieron estos valores se presenta en el apéndice 1 del trabajo.

En la tabla 6 se presentan los costos correspondientes a las tarifas presentadas en la tabla 5.

Tabla 6.- Tarifa eléctrica promedio anual para el año de 1998.

TARIFA	6	O - M	H - M
PROMEDIO ANUAL	0.52483	0.44490	0.68256

CAPÍTULO 2

Como se puede ver, la mayoría de los sistemas tiene un costo por KWH diferente, con excepción de los abastecimientos superficiales y subterráneos que tienen el mismo costo.

Para el caso del sistema de tratamiento del agua, fue necesario conocer qué sistema se va a utilizar o es utilizado. Después, por medio de los índices mostrados en la tabla 7, se encontró el costo de la potabilización para cada fuente de suministro. Los m³ de agua anuales de cada sistema, se multiplicaron por el índice correspondiente dando como resultado el costo anual de potabilización de cada sistema.

Tabla 7. - Índices de costos de los sistemas de tratamiento.

PROCESO	\$/m ³	INCLUYE	SISTEMA
FLOCULACIÓN, SEDIMENTACIÓN, FILTRACIÓN Y CLORACIÓN	0.160	REACTIVOS, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO	CUTZAMALA, TEMASCALTEPEC Y SUPERFICIALES
CLORACIÓN Y ABLANDAMIENTO	0.053		LERMA Y SUBTERRÁNEOS

Fuente: Comisión Nacional del Agua. Departamento de operación. 1998

Los índices mostrados en la tabla 7, fueron calculados por el departamento de operación de la Comisión Nacional del Agua. Dichos índices se calcularon con precios de 1998, guiándose por las facturas de los sistemas. Además, éstos involucran los costos de los reactivos, mano de obra, mantenimiento y la energía eléctrica utilizada por las bombas en cada proceso. Los sistemas en operación analizados en el presente trabajo, utilizan procesos como el de floculación, sedimentación, filtración y cloración, por lo que sólo se contemplan estos costos en la tabla 7, mientras que los proyectos del Instituto de Ingeniería utilizan ósmosis inversa, electrodiálisis, micro y ultrafiltración y sus costos se muestran en los capítulos respectivos.

CAPÍTULO 3

EL SISTEMA CUTZAMALA

Aquí se habla del Sistema Cutzamala, dónde se localiza y qué lo conforma. Se describen las tres etapas utilizadas en el sistema y las presas necesarias para abastecer al Valle de México. Se informa sobre las potencias requeridas por las bombas y se da una descripción del proceso de tratamiento del agua. Por último, se presentan los costos tanto de consumo energético (bombeo) como del sistema de tratamiento.

3.1. Descripción del sistema.

El Sistema Cutzamala se encuentra cerca de Valle de Bravo y capta el agua de siete presas de almacenamiento y de derivación, para conducirla a la Planta Potabilizadora de Los Berros, ubicada en la cuenca alta del Río Cutzamala.⁶ el sistema cuenta con: un vaso de regulación y un acueducto de 127 km, que incluye 19 km de túneles y 7,5 km de canales; una Planta Potabilizadora con capacidad de 24 m³/s y seis plantas de bombeo para vencer un desnivel de hasta 1100 metros (cuya operación requiere una energía total promedio de 1 650 millones de kilowatts hora por año) y 24 km de túneles dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que corresponden a los ramales Norte y Sur, de 12.5 y 11.5 km respectivamente, para la distribución del agua a los municipios conurbados del Estado de México y al Distrito Federal.

⁶ Comisión Nacional del Agua "Sistema Cutzamala, agua para millones de mexicanos" SEMARNAP, 1997.

CAPÍTULO 3

En la figura 6 se muestra el croquis del Sistema Cutzamala, incluyendo las presas y los sistemas de rebombeo que lo conforman.

Figura 6.- Croquis del Sistema Cutzamala.



El sistema aprovecha el agua de la cuenca alta del Río Cutzamala, provenientes de las presas Tuxpan y El Bosque, en el estado de Michoacán; Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo y Villa Victoria en el estado de México y que anteriormente formaban parte del sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, así como de la presa Chilesdo, que fue necesario construir para aprovechar las aguas del Río Malacatepec. Su construcción se inició en 1976, programándose en 3 etapas constructivas de 4, 6 y 9 m³/s respectivamente. Las aguas de este sistema son las mismas que posteriormente se utilizaron para generación de energía eléctrica, únicamente se

CAPÍTULO 3

realizó un cambio en su uso, dejando reservas de $3 \text{ m}^3/\text{s}$ para atender a las demandas locales, tanto actuales como futuras, que requiere el desarrollo agrícola e industrial de la región.

3.1.1. Primera etapa

La primera etapa, en operación desde mayo de 1982, aporta $4 \text{ m}^3/\text{s}$ procedentes de la Presa Villa Victoria, que se conducen a través del canal Martínez de Meza, de 12 km de longitud, a la planta Potabilizadora de Los Berros. Posteriormente, se realiza su bombeo en la planta No. 5, venciendo una carga total de 174 m, para después conducirla a través de un acueducto de 77 km de longitud, de tubería de concreto preesforzado de 2.50 m de diámetro y $12 \text{ m}^3/\text{s}$ de capacidad, atravesando la Sierra de las Cruces en la parte noroeste del Atarasquillo Dos Ríos, que conduce también las aguas del Alto Lerma, iniciándose en Dos Ríos la distribución del agua.

3.1.2. Segunda etapa

La Segunda Etapa, en operación desde julio de 1985, consiste en la captación y conducción de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ de la presa Valle de Bravo. Incluye la conducción, desde la misma presa, hasta la Planta Potabilizadora de Berros. Cuenta con tuberías de acero de una longitud total de 3.7 km de alta y baja presión, cuyos diámetros fluctúan entre 1.83 y 3.27 m; 14.5 km de tubería de concreto preesforzado de 2.50 m de diámetro y capacidad de $12 \text{ m}^3/\text{s}$; y las plantas de Bombeo 2, 3 y 4, para vencer cargas de 122, 350 y 350 m, respectivamente.

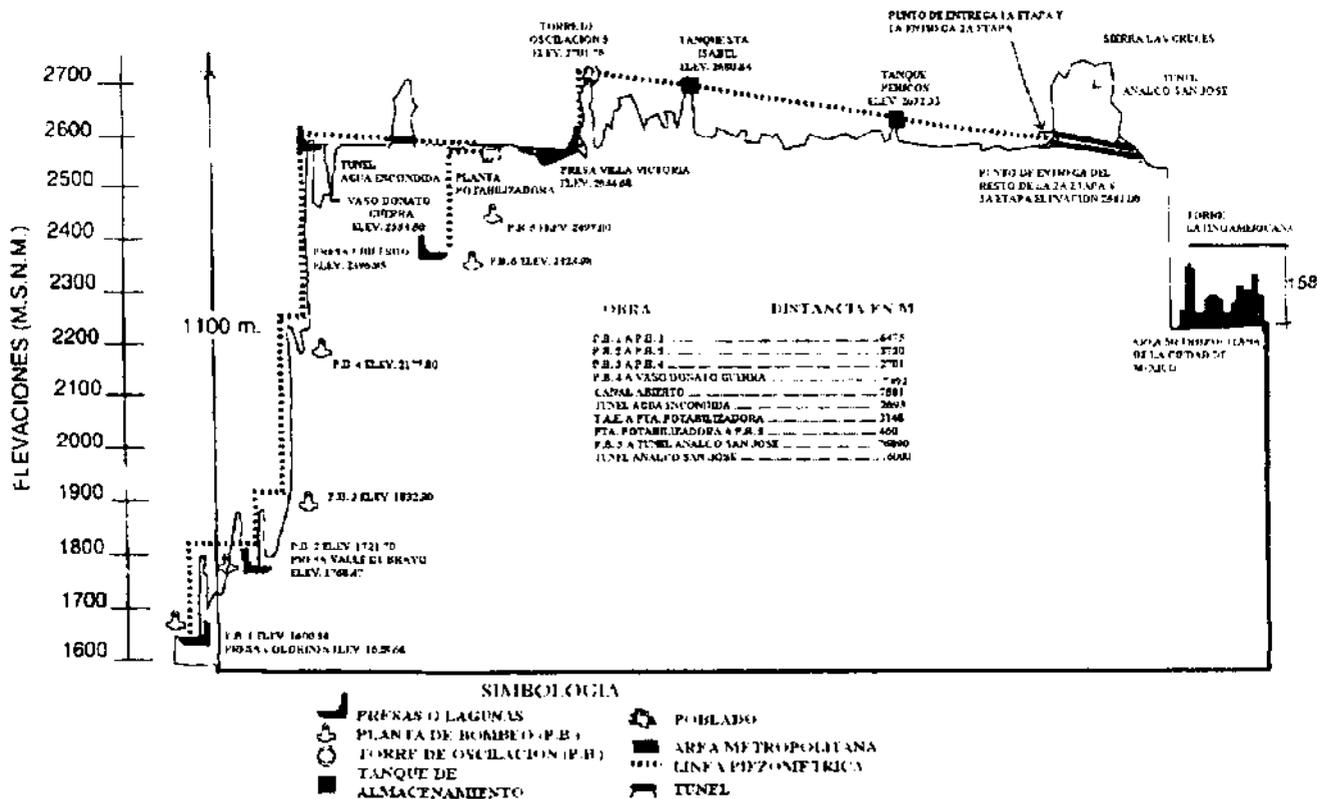
En las Plantas de Bombeo 2, 3 y 4, se han instalado equipos de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ de capacidad, las cuales cuentan con torre de sumergencia y otra de oscilación. La primera tiene como función proporcionar la carga y volumen que requieren los equipos

CAPÍTULO 3

de bombeo para su arranque y la segunda, evitar el golpe de ariete en la tubería de presión de acero. En estas plantas, las magnitudes de los motores alcanzan niveles extraordinarios, ya que para vencer cargas de hasta 350 m, se ha requerido de una potencia de 22000 caballos de fuerza (16.41 MW) para cada una de ellas. Así mismo los elementos y piezas especiales utilizadas, como las válvulas esféricas que protegen los equipos de bombeo, son también de un tamaño inusitado.

Las plantas de bombeo de este sistema, para decirlo en una analogía, permiten elevar el contenido de 19 tinacos de 1000 litros cada uno a una altura de 1100m, equivalentes a siete y media veces la altura de la Torre Latinoamericana y recorrer 127 km, distancia equivalente al trayecto de ida y vuelta de la carretera México Cuernavaca, todo ello, para poder suministrar $19 \text{ m}^3 / \text{s}$. En la figura 7, se puede ver el perfil del Sistema Cutzamala.

FIG. 7.- PERFIL DEL SISTEMA CUTZAMALA



CAPÍTULO 3

También se construyó el Vaso Donato Guerra, con capacidad aproximada de 300,000 m³ que funciona como regulador, enviando por gravedad hasta 19 m³/s a la Planta Potabilizadora, para asegurar en ésta un suministro continuo durante las 24 horas, ya que el proyecto contempla el uso combinado de las presas Valle de Bravo y Colorines, para permitir la generación de energía eléctrica en las horas de mayor demanda.

A partir de esta obra, se conducen los caudales mediante un canal abierto de sección trapezoidal, con 4.60 m de diámetro cada una y capacidad de 24 m³/s, hasta el portal de entrada del túnel Agua Escondida, de longitud de 3.1 km y sección de herradura de 4.2 m. Del portal de salida de este túnel, se conduce el agua mediante tubería de concreto, hasta el tanque receptor de aguas crudas de la planta potabilizadora. En la Planta de bombeo No. 5, además de los equipos que operan en la Primera etapa, se dispone de tres bombas con capacidad de 4 m³/s para la segunda etapa, que elevan el agua 174 m hasta la torre de oscilación No. 5 y a partir de este punto, se inicia la conducción por gravedad a través del acueducto de 77 km de longitud, hasta el portal de entrada del túnel Analco San José, de 16 km de longitud y capacidad de 34 m³/s, que atraviesa la Sierra de las Cruces y por el cual, se conduce el total de los caudales del Sistema.

3.1.3. Tercera etapa

La tercera etapa, puesta en operación desde enero de 1993, permite captar 9 m³/s: los primeros 8 m³/s en el Vaso Regulador de Colorines, procedentes de las presas Tuxpan y el Bosque (Estado de Michoacán), e Ixtapan del Oro, (Estado de México), para lo cual se construyó la Planta de Bombeo 1 Colorines, con una capacidad de 20 m³/s y carga de 157 m: El otro m³/s, se capta en la presa derivadora Chilesdo,

CAPÍTULO 3

cuya construcción permite enviar a la Planta potabilizadora, hasta 5 m³/s durante la época de avenidas, mediante la Planta de Bombeo No. 6, constituida por tres equipos con un gasto de 1.6 m³/s cada uno, contra una carga de 213 m, con capacidad total instalada de 16 890 HP, disponiendo de sus respectivas torres de oscilación - sumergencia y tubería hasta la Planta Potabilizadora. La tubería de concreto de esta sección, está constituida por dos líneas de 1.37 m y 1.06 m de diámetro, respectivamente.

Con esta obra se reducen notablemente los costos de operación al evitar que las aguas del Río San José Malacatepec escurran hasta la presa Colorines, ya que la carga de bombeo de la Presa Chilesdo a la Planta Potabilizadora es de 213 m y desde Colorines es de 980 m.

Con objeto de asegurar el suministro durante interrupciones horarias, se construyó el tanque Pericos, cerca de la Ciudad de Toluca, con una capacidad total de 200,000 m³.

3.2. Sistema de tratamiento del agua

El sistema de la Planta Potabilizadora de Berros incluye 6 módulos de tratamiento. Cada uno de ellos tiene capacidad para potabilizar 4 m³/s.

El agua cruda llega a un tanque de recepción de 6500 m³ formado por dos cámaras. Posteriormente, pasa a unos canales Parshall, donde el caudal es medido y se adicionan los siguientes reactivos: sulfato de aluminio (que sirve como coagulante) y cloro (para evitar el desarrollo de algas durante el proceso). Después, es conducida a la sección de potabilización, iniciándose el proceso con la floculación, que se realiza con ayuda de paletas agitadoras de eje horizontal, instaladas en 4 tanques de 2 000 m³ de capacidad cada uno.

CAPITULO 3

Concluida la floculación, el agua pasa a 4 tanques denominados de sedimentación, de 4 000 m³ cada uno, los cuales cuentan con un conjunto de placas paralelas de asbesto cemento, con una separación de 5 cm e inclinadas 60°, las que propician y aceleran la precipitación de los flóculos en suspensión. Estos flóculos se depositan en forma de lodo en el fondo del tanque, de donde son extraídos, mediante un sistema de succión suspendido de un flotador que recorre los tanques en sentido longitudinal.

Una vez sedimentados los lodos, el agua pasa a la sección de filtros, que consta de 8 tanques con capacidad aproximada de 8000 m³, que contienen lechos de grava y arena sílice, apoyados en un falso fondo constituido por losas con boquillas microgranuladas, por las cuales pasa el agua ya filtrada con calidad potable. Los lechos de arena y grava mencionados requieren lavados periódicos mediante aire y agua que se inyecta en sentido inverso por las boquillas. Posteriormente se adiciona cal al agua que sale de los filtros a fin de neutralizar el efecto corrosivo, propiciado por la adición de los coagulantes inicialmente citados.

El agua potabilizada pasa a un tanque de recepción de aguas claras con capacidad total de 35 000 m³, que es al mismo tiempo, el tanque de sumergencia de la planta de bombeo No. 5, que envía el agua hacia el Area Metropolitana. El esquema de la Planta Potabilizadora se puede ver en la figura 8.

3.3. Sistema de bombeo.

En resumen, el sistema cuenta con 35 bombas, 29 de ellas con una capacidad unitaria de 4 m³/s y el resto de 1.7 m³/s, accionadas con motores eléctricos con potencia de hasta 22000 H. P (16.41 MW), siendo la potencia total instalada de 450000 H. P. (335.7 MW).

CAPÍTULO 3

3.4. Costos.

Para el caso del sistema de bombeo, la CNA estima que para 1998, se requiere un consumo de 1,396,461,346 KWH, al aplicar la tarifa correspondiente presentada en el capítulo 2, se obtiene un costo de 953,168,656 pesos. El cálculo de estos valores se puede ver en la tabla 8.

Tabla 8.- Costos de 1998 para el Sistema Cutzamala.

MES	DIAS	M3/S PROM	M3/MES	TARIFA H-M	KWH	\$
ENERO	31	14.95	40042080	PROMEDIO	116865110	
FEBRERO	28	14.10	34110720		107432923	
MARZO	31	14.78	39586752		121111245	
ABRIL	30	15.00	38880000		79769179	
MAYO	31	15.31	41006304		80790774	
JUNIO	30	14.73	38180160		98682707	
JULIO	31	14.11	37792224		118259429	
AGOSTO	31	14.18	37979712		128187507	
SEPTIEMBRE	30	14.08	36495360		132558664	
OCTUBRE	31	14.00	37497600		140321376	
NOVIEMBRE	30	14.00	36288000		135794880	
DICIEMBRE	31	14.00	37497600		136687552	
TOTAL	365	14.44	455356512	0.68256	1396461346	953168656.3

Al dividir el valor presente del costo anual entre el valor presente del número de m³ anuales, se obtiene el costo de bombeo por cada m³ de agua. Esto es igual a 2.09 \$/m³, que al redondear nos queda de 2.10 \$/m³.

Para el caso del sistema de tratamiento, Cutzamala cuenta con los procesos de floculación, sedimentación, filtración y cloración, por lo que el costo anual del sistema es:

$$(455,356,512 \text{ m}^3)(0.16 \text{ pesos/m}^3) = 72,857,041.92 \text{ pesos}$$

CAPÍTULO 3

El costo de transportar agua limpia del sistema Cutzamala a la Zona metropolitana de la Ciudad de México es de 2.16 $\$/m^3$, donde el 92.92 % corresponde al transporte y el 7.08 % restante a la potabilización.

Tabla 9. - Costos del sistema Cutzamala.

SISTEMA	BOMBEO $\$/m^3$	TRATAMIENTO $\$/m^3$	INVERSIÓN $\$/m^3$
CUTZAMALA	2.10	0.16	3.89

Para el costo de inversión, se divide la inversión entre el valor presente de la producción, dando como resultado 3.89 $\$/m^3$.

Por lo que costo total es de 6.15 $\$/m^3$.

CAPÍTULO 4

EL SISTEMA LERMA

En este capítulo se describe al Sistema Lerma, de cuándo se construyó y entró en operación. Se especifica su localización y se da una descripción de cómo se capta el agua de los diferentes acuíferos que lo conforman. También se describe cómo es traída el agua a la ciudad y el tratamiento que se le da. Más tarde se mencionan los costos de facturación energética y de potabilización.

4.1. Descripción del sistema

El Sistema Lerma se encuentra localizado en el Valle de Toluca, Estado de México. Está limitado al norte por el municipio de Jocotitlán, al oriente por la Sierra de las Cruces, al poniente por las Lagunas de Lerma y al sur por San Pedro Techuchulco y la zona arqueológica de Tenango del Valle.

El sistema capta agua del acuífero del Río Lerma y de pozos aledaños. Cuenta con 230 pozos, dos plantas de rebombeo, tres cárcamos de bombeo y cuatro acueductos.⁷ Además de los 230 pozos mencionados, existen 90 adicionales para uso exclusivo de riego y 19 para abastecer de agua potable a las poblaciones cercanas al lugar.

⁷ Secretaría de Recursos Hidráulicos. "Los acuíferos del Alto Lerma". Comisión Hidrológica de la cuenca del Valle de México. 1970.

CAPÍTULO 4

La captación de agua está organizada por medio de ramales, los cuales a su vez, forman circuitos. Existen 16 ramales y 15 circuitos, los cuales se presentan en la tabla 10.

Tabla 10.- Ramales y circuitos del Sistema Lerma.

CIRCUITO	# DE POZOS	CIRCUITO	# DE POZOS
Almoloya 1	23	Ixtlahuaca poniente	6
Almoloya 2	17	Ixtlahuaca	17
Ameyalco	5	Juquipilco, Malacota, Jilotepec	28
Tlazala	20	Jocotitlán, los Reyes, Santo Domingo	22
Viveros	18	Ignacio Ramírez	12
Tláloc 2	31	Total	230

Los nombres de los ramales con su longitud y diámetro se presentan en la tabla 11.

El Sistema Lerma empezó a funcionar en el año de 1951, con un caudal de 4 m³/s. Su construcción se inició en 1942, es decir, tardaron nueve años para que funcionara.

En 1965, la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), el Departamento del Distrito Federal (DDF), con el permiso del C. Presidente de la República Mexicana y la anuencia del gobierno del Estado de México, plantearon un proyecto para aumentar el caudal a 15 m³/s, el cual se hizo realidad a finales de 1970.

Se decidió a traer agua del Lerma por sus ventajas, como son: la cercanía a la ciudad, contar con manantiales a una elevación aproximada de 300 m mayor que la de

CAPÍTULO 4

la Ciudad de México y porque cuenta con agua subterránea de muy buena calidad que prácticamente no necesita tratamiento.

Tabla 11.- Especificaciones de los Ramales del sistema Lerma.

RAMAL	LONGITUD km	DIÁMETRO cm
Jilotepec	7.07	30-91
Los Reyes	3.94	122
Sto. Domingo	6.42	30-91
San Felipe Santiago	5.47	30-51
Juquipilco	13.00	30-122
Malacota	13.50	122
Jocotitlán	10.00	122
Ixtlahuaca Poniente	4.68	30-122
Ignacio Ramírez	16.00	122
El Convento	5.00	30-91
San Diego Alcalá	2.26	30-50
Temoaya	3.42	30-50
San Lorenzo Oyamel	2.63	30-50
El Arenal	3.15	30-50
Cuauhtémoc	1.84	30-50
Xonocatlán	2.36	30-50
Total	100.74	-

Fuente: Secretaría de Recursos Hidráulicos. "Los acuíferos del Alto Lerma". Comisión Hidrológica de la cuenca del Valle de México. 1970.

La captación y conducción del agua comprenden desde Almoloya del Río, hasta los tanques de Dolores.

Las captaciones de Almoloya, Texcaltengo y Alta Empresa, se hacen por medio de galerías, interceptando las corrientes subterráneas de los manantiales. La

CAPÍTULO 4

captación de aguas subterráneas, se hace a lo largo del acueducto superior, por medio de 75 pozos profundos, con profundidades variables entre 50 y 308 m.

Las obras de conducción constan de tres partes: acueducto superior en el Valle de Toluca; Túnel de las Cruces, entre Atarasquillo y Dos Ríos; y acueducto inferior, en el Valle de México.

El acueducto superior, está localizado un metro arriba del nivel de las aguas de la laguna del Lerma, tiene una longitud total de 22 km y una capacidad variable entre 1.2 y 6 m³/s. Su origen se encuentra en Almoloya y su extremo inferior, al pie de las estribaciones de la Sierra de las Cruces, en la Cañada de Atarasquillo.

El Túnel Atarasquillo - Dos Ríos que comunica a los valles de Toluca y México, atraviesa la Sierra de las Cruces que separa los dos valles. Está trazado en línea recta y tiene una longitud de 14,334 m; el portal de entrada del túnel se encuentra en la Cañada de Atarasquillo y el de salida en la Cañada de Dos Ríos.

El acueducto inferior, localizado dentro de la Cuenca del Valle de México, principia en el portal de salida del túnel Atarasquillo - Dos Ríos y termina en la cámara de distribución, donde se conecta a los tanques Dolores, en los cuales se hace la distribución del agua a la Ciudad de México. Tiene una longitud de 21 km con 13 tramos en túnel.

El acueducto inferior cuenta con un observatorio piezométrico, el cual consta de 122 estaciones piezométricas, que se utilizan para observaciones de mecánica de suelos y del comportamiento de los acuíferos.

CAPÍTULO 4

4.2. Sistema de tratamiento de agua

Como el agua es captada de pozos sólo se les aplica cloro para su desinfección. En la tabla 12 se puede ver la calidad del agua de todos los pozos que conforman al Sistema Lerma.

4.3. Sistema de bombeo

El sistema cuenta con dos plantas de rebombeo, José Antonio Alzate y Almoloya del Río, así como tres cárcamos de bombeo, en el subsistema sur (sur, centro y norte).

La planta José Antonio Alzate, localizada junto a la presa del mismo nombre, consta de 7 bombas diseñadas para manejar caudales de $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ y vencer una carga total de 75 metros.

La planta Almoloya del Río, localizada en la población del mismo nombre, Estado de México, vence una carga de 12 metros respecto del inicio del acueducto de gravedad del Lerma Sur.

Los cárcamos Sur, Centro y Norte, los dos primeros localizados en el poblado de Tlazala y el último en la localidad del Pedregal, municipio de Ocoyoacac, pueden vencer una carga de 12 metros cada uno, para conducir el agua al acueducto por gravedad. En la tabla 12, además de mostrar la calidad del agua, se presenta la profundidad, caudal y potencia de las bombas, en cada uno de los pozos.

CAPÍTULO 4

Tabla 12.a.- Pozos que forman el Sistema Lerma

POZOS DE LA REGIÓN : AGUAS DEL LERMA

SUBREGIÓN : ALZATE

NUM	UBICACIÓN	GASTO M3PS	PROF. M	CALIDAD DEL AGUA	POTENCIA HP	POTENCIA KW
37	RAMAL Sn. LORENZO OYAMEL; Km 22+000 NORTE	0.05	169	POTABLE	111.1186327	82.8945
38	RAMAL Sn. LORENZO OYAMEL; Km 22+000 NORTE	0.074	190	POTABLE	184.8908847	137.9286
39	RAMAL Sn. LORENZO OYAMEL; Km 22+000 NORTE	0.062	190	POTABLE	154.9085791	115.5618
40	RAMAL Sn. LORENZO OYAMEL; Km 22+000 NORTE	0.062	190	POTABLE	154.9085791	115.5618
41	RAMAL TLALOC 1 ; Km 22+800 NORTE	0.054	251	POTABLE	178.2369169	132.96474
42	RAMAL TEMOYA; CARR. TOLUCA - TEMOYA	0.062	190	POTABLE	154.9085791	115.5618
43	RAMAL TEMOYA; CARR. TOLUCA - TEMOYA	0.095	200	POTABLE	249.8525469	186.39
44	RAMAL TEMOYA; CARR. TOLUCA - TEMOYA	0.064	132	POTABLE	111.0923324	82.87488
45	RAMAL TEMOYA; CARR. TOLUCA - TEMOYA	0.07	200	POTABLE	184.1018767	137.34
46	RAMAL TLALOC 2 ; Km 24+100 NORTE	0.058	200	POTABLE	152.541555	113.796
47	RAMAL TLALOC 2 ; Km 25+500 NORTE	0.064	203	POTABLE	170.8465416	127.45152
48	RAMAL TLALOC 2 ; Km 26+500 NORTE	0.089	210	POTABLE	245.7760054	183.3489
49	RAMAL SN DIEGO ALCALA ; Km 26+800	0.066	160	POTABLE	138.8654155	103.5636
50	RAMAL SN DIEGO ALCALA ; Km 26+800	0.066	140	POTABLE	121.5072386	90.6444
51	RAMAL SN DIEGO ALCALA ; Km 26+800	0.066	190	POTABLE	164.902681	123.0174
52	RAMAL TLALOC 2 ; Km 27+500 NORTE	0.084	205	POTABLE	226.4453083	168.9282
53	RAMAL TLALOC 2 ; Km 28+000 NORTE	0.119	205	POTABLE	320.7975201	239.31495
54	RAMAL TLALOC 2 ; Km 29+200 NORTE	0.089	205	POTABLE	239.9241957	178.98345
55	RAMAL TLALOC 2 ; Km 30+000 NORTE	0.06	71.5	POTABLE	56.41407507	42.0849
56	RAMAL TLALOC 2 ; Km 30+900 NORTE	0.06	203	POTABLE	160.1686327	119.4858
57	RAMAL TLALOC 2 ; Km 32+100 NORTE	0.054	200	POTABLE	142.0214477	105.948
58	RAMAL EL COMVENTO; HACIA POBL. PORTEZUELAS	0.066	250	POTABLE	216.9772118	161.865
59	RAMAL EL COMVENTO; HACIA POBL. PORTEZUELAS	0.028	173	POTABLE	63.69924933	47.51964
60	RAMAL EL COMVENTO; HACIA POBL. PORTEZUELAS	0.066	193	POTABLE	167.5064075	124.95978
61	RAMAL EL COMVENTO; HACIA POBL. PORTEZUELAS	0.066	200	POTABLE	173.5817894	129.492
62	RAMAL EL COMVENTO; HACIA POBL. PORTEZUELAS	0.056	204	POTABLE	150.2271314	112.06944
63	RAMAL EL COMVENTO; Km 32+900 NORTE	0.069	203	POTABLE	184.1939276	137.40867
64	RAMAL TLALOC 2 ; Km 35+000 NORTE	0.047	205	POTABLE	126.7015416	94.51935
65	RAMAL TLALOC 2 ; Km 35+000 NORTE CERCA OSCILACION	0.083	157	POTABLE	171.3593968	127.83411
66	RAMAL TLALOC 2 ; Km 35+000 NORTE	0.083	170	POTABLE	185.5483914	138.4191
67	RAMAL TLALOC 2 ; Km 35+000 NORTE	0.083	201	POTABLE	219.3836863	163.66023
68	RAMAL IGNACIO RAMIREZ ; CAMINO PRESA I. RAMIREZ	0.086	178	POTABLE	201.302252	150.17148
69	RAMAL IGNACIO RAMIREZ ; CAMINO PRESA I. RAMIREZ	0.047	201	POTABLE	124.2293164	92.67507
70	RAMAL IGNACIO RAMIREZ ; CAMINO PRESA I. RAMIREZ	0.042	202	POTABLE	111.5657373	83.22804
71	RAMAL IGNACIO RAMIREZ ; CAMINO PRESA I. RAMIREZ	0.03	200	POTABLE	78.90080429	58.86
72	RAMAL IGNACIO RAMIREZ ; CAMINO PRESA I. RAMIREZ	0.03	190	POTABLE	74.95576408	55.917
73	RAMAL IGNACIO RAMIREZ ; CAMINO PRESA I. RAMIREZ	0.03	200	POTABLE	78.90080429	58.86
74	RAMAL IGNACIO RAMIREZ ; CAMINO PRESA I. RAMIREZ	0.04	202	POTABLE	106.2530831	79.2648
75	RAMAL IGNACIO RAMIREZ ; CAMINO PRESA I. RAMIREZ	0.04	170	POTABLE	89.42091153	66.708
76	RAMAL IGNACIO RAMIREZ ; CAMINO PRESA I. RAMIREZ	0.062	179	POTABLE	145.9401877	108.87138
77	RAMAL IGNACIO RAMIREZ ; CAMINO PRESA I. RAMIREZ	0.09	201	POTABLE	237.8859249	177.4629
78	RAMAL IGNACIO RAMIREZ ; CAMINO PRESA I. RAMIREZ	0.03	141	Fe=0,81 mg/L	55.62506702	41.4963
79	RAMAL IGNACIO RAMIREZ ; CAMINO PRESA I. RAMIREZ	0.03	172.8	POTABLE	68.17029491	50.85504
80	RAMAL IXTLAHUACA; Km 40+000 NORTE	0.026	174	POTABLE	59.49120643	44.38044
81	RAMAL IXTLAHUACA; Km 40+800 NORTE	0.06	262	POTABLE	206.7201072	154.2132
82	RAMAL IXTLAHUACA; Km 45+500 NORTE	0.08	180	POTABLE	189.3619303	141.264
83	RAMAL IXTLAHUACA; CARR. IXTLAHUACA - TOLUCA	0.074	200	POTABLE	194.6219839	145.188
84	RAMAL IXTLAHUACA; CARR. IXTLAHUACA - TOLUCA	0.025	202	POTABLE	66.40817694	49.5405
85	RAMAL IXTLAHUACA; CARR. IXTLAHUACA - TOLUCA	0.04	181	POTABLE	95.20697051	71.0244
86	RAMAL IXTLAHUACA; Km 43+900 NORTE	0.071	216	POTABLE	201.6704556	150.44616
87	RAMAL IXTLAHUACA; Km 44+800 NORTE	0.072	246	POTABLE	232.9151743	173.75472

CAPÍTULO 4

Tabla 12.b.- Pozos que forman el Sistema Lerma

POZOS DE LA REGIÓN : AGUAS DEL LERMA

SUBREGIÓN : ALZATE

NUM	UBICACIÓN	GASTO M3PS	PROF. M	CALIDAD DEL AGUA	POTENCIA HP	POTENCIA KW
88	RAMAL IXTLAHUACA; Km 45+900 NORTE	0.056	202	POTABLE	148.7543164	110.97072
89	RAMAL IXTLAHUACA; Km 47+600 NORTE	0.057	203	POTABLE	152.1602011	113.51151
90	RAMAL IXTLAHUACA; Km 47+600 NORTE	0.095	227	POTABLE	283.5826408	211.55265
91	RAMAL IXTLAHUACA; Km 47+9500 NORTE	0.075	240	POTABLE	236.7024129	176.58
92	RAMAL IXTLAHUACA; Km 48+600 NORTE	0.084	252	POTABLE	278.3620375	207.65808
93	RAMAL IXTLAHUACA; Km 49+500 NORTE	0.061	205	POTABLE	164.4424263	122.67405
94	RAMAL IXTLAHUACA; PTE. ; Km 50+300 NORTE	0.096	200	POTABLE	249.8525469	186.39
95	RAMAL IXTLAHUACA; PONIENTE.	0.034	200	POTABLE	89.42091153	66.708
96	RAMAL IXTLAHUACA; PONIENTE.	0.03	61	POTABLE	24.06474531	17.9523
97	RAMAL IXTLAHUACA; PONIENTE.	0.026	96	POTABLE	32.82273458	24.48576
98	RAMAL IXTLAHUACA; PONIENTE.	0.084	154	Fe=0.8 mg/L	129.6077212	96.68736
99	RAMAL IXTLAHUACA; PONIENTE.	0.02	180	POTABLE	47.34048257	35.316
100	RAMAL IXTLAHUACA; PONIENTE.	0.074	192	POTABLE	186.8371046	139.38048
101	RAMAL JOCOTITLAN; Km 52+100 NORTE	0.036	200	POTABLE	94.68096515	70.632
102	RAMAL JOCOTITLAN; Km 53+900 NORTE	0.089	180	POTABLE	187.2579088	139.6944

POZOS DE LA REGIÓN : AGUAS DEL LERMA

SUBREGIÓN LERMA CENTRO

NUM	UBICACIÓN	GASTO M3PS	PROF. M	CALIDAD DEL AGUA	POTENCIA HP	POTENCIA KW
1	RAMAL AMEYALCO Km 4+200 SUR	0.06	320	POTABLE	252.4825737	188.352
2	RAMAL TLALOC1 ; Km 4+000 SUR	0.041	320	POTABLE	172.5297587	128.7072
3	RAMAL TLALOC1; Km 3+500 SUR	0.041	320	POTABLE	172.5297587	128.7072
4	RAMAL TLALOC1; Km 3+000 SUR	0.045	320	POTABLE	189.3619303	141.264
5	RAMAL AMEYALCO ; Km 2+500 SUR	0.05	320	POTABLE	210.4021448	156.96
6	RAMAL TLALOC 1 ; Km 2+100 SUR	0.05	300	POTABLE	197.2520107	147.15
7	RAMAL TLALOC 1; Km 1+200 SUR	0.05	174	POTABLE	114.4061662	85.347
8	RAMAL AMEYALCO; Km 0+900 SUR	0.029	232	POTABLE	88.47410188	66.00168
9	RAMAL AMEYALCO; Km 0+500 SUR	0.045	232	POTABLE	137.2873995	102.4164
10	RAMAL TLALOC 1 ; Km 0+100 SUR	0.045	400	POTABLE	236.7024129	176.58
11	RAMAL TLALOC 1; Km 0+300 SUR	0.041	200	POTABLE	107.8310992	80.442
12	RAMAL TLALOC 1; Km 1+000 NORTE	0.09	154	POTABLE	182.2608579	135.9666
13	RAMAL TLALOC 1; Km 1+800 NORTE	0.048	175	POTABLE	110.461126	82.404
14	RAMAL TLALOC 1; Km 4+000 NORTE	0.048	162	POTABLE	102.2554424	76.28256
15	RAMAL TLALOC 1; Km 4+800 NORTE	0.091	225	POTABLE	269.2489946	200.85975
16	RAMAL TLALOC 1; Km 6+300 NORTE	0.108	230	POTABLE	326.6493298	243.6804
17	RAMAL TLALOC 1; Km 6+300 NORTE	0.149	152	POTABLE	297.8242358	222.17688
18	RAMAL TLALOC 1; Km 6+800 NORTE	0.116	128	POTABLE	192.2023592	143.38296
19	RAMAL TLALOC 1; Km 7+800 NORTE	0.116	160	POTABLE	244.0664879	182.0736
20	RAMAL TLALOC 1; Km 9+700 NORTE	0.1	226	POTABLE	297.1930295	221.706
21	RAMAL TLALOC 1; Km 11+000 NORTE	0.115	154	POTABLE	232.888874	173.7351
22	RAMAL TLALOC 1; Km 11+800 NORTE	0.078	230	POTABLE	235.9134048	175.9914
23	RAMAL TLALOC 1; Km 12+900 NORTE	0.06	160	POTABLE	126.2412869	94.176
24	RAMAL XONACATLAN ; Km 13+500 NORTE	0.038	232	POTABLE	115.8315818	86.48496
25	RAMAL XONACATLAN ; Km 13+500 NORTE	0.05	243	POTABLE	159.7741287	119.1915
26	RAMAL XONACATLAN ; Km 13+500 NORTE	0.057	205	POTABLE	153.6593164	114.62985
27	RAMAL TLALOC 1 ; Km 13+900 NORTE	0.1	241	POTABLE	316.9182306	236.421
28	RAMAL TLALOC 1 ; Km 15+100 NORTE	0.071	160	POTABLE	149.3855228	111.4416
29	POBL. DE VILLA CUAUHTEMOC OTZOLOTEPEC	0.1	225	POTABLE	295.8780161	220.725
30	RAMAL TLALOC 1 ; Km 17+000 NORTE	0.083	150	POTABLE	163.7191889	122.1345
31	RAMAL TLALOC 1 ; Km 18+800 NORTE	0.083	203	POTABLE	221.5888086	165.28889
32	RAMAL EL ARENAL ; OTZOLOTEPEC	0.064	228	POTABLE	191.888756	143.14752
33	RAMAL EL ARENAL ; OTZOLOTEPEC	0.09	190	POTABLE	224.8672922	167.751
34	RAMAL EL ARENAL ; OTZOLOTEPEC	0.09	190	POTABLE	224.8672922	167.751
35	RAMAL TLALOC 1 ; Km 19+400 NORTE	0.052	167	POTABLE	114.1957641	85.19004
36	RAMAL TLALOC 1 ; Km 20+800 NORTE	0.025	194	POTABLE	63.77815013	47.5785

CAPÍTULO 4

Tabla 12.c.- Pozos que forman el Sistema Lerma

POZOS DE LA REGIÓN : AGUAS DEL LERMA

SUBREGIÓN LERMA NORTE

NUM	UBICACIÓN	GASTO M3PS	PROF. M	CALIDAD DEL AGUA	POTENCIA HP	POTENCIA KW
103	RAMAL JIQUIPILCO ; Km 56+000	0.06	200	POTABLE	157.8016086	117.72
104	RAMAL JIQUIPILCO ; Km 57+000	0.028	250	POTABLE	92.05093834	68.67
105	RAMAL JIQUIPILCO ; Km 58+000	0.02	250	POTABLE	65.75067024	49.05
106	RAMAL JIQUIPILCO ; Km 59+000	0.059	250	POTABLE	193.9644772	144.6975
107	RAMAL JIQUIPILCO ; Km 60+200	0.059	208	POTABLE	161.378445	120.38832
108	RAMAL JIQUIPILCO ; Km 61+000	0.028	103	POTABLE	37.9249866	28.29204
109	RAMAL JIQUIPILCO ; Km 62+000	0.08	251	POTABLE	264.0546917	196.9848
110	RAMAL JIQUIPILCO ; Km 62+000	0.08	203	POTABLE	213.5581769	159.3144
111	RAMAL JIQUIPILCO ; Km 62+000	0.05	235	POTABLE	154.5140751	115.2675
112	RAMAL Sn. FELIPE SANTIAGO ; Km 63+000	0.06	200	POTABLE	157.8016086	117.72
113	RAMAL Sn. FELIPE SANTIAGO ; Km 64+000	0.075	150	POTABLE	147.939008	110.3625
114	RAMAL Sn. FELIPE SANTIAGO; CAMINO Sn.BARTOLO	0.048	340	POTABLE	214.6101877	160.0992
115	RAMAL Sn. FELIPE SANTIAGO; CAMINO Sn.BARTOLO	0.016	200	POTABLE	42.06042895	31.392
116	RAMAL Sn. FELIPE SANTIAGO; CAMINO Sn.BARTOLO	0.036	162	POTABLE	76.69158177	57.21192
117	RAMAL MALACOTA; Km 65+000	0.055	200	POTABLE	144.6514745	107.91
118	RAMAL MALACOTA; Km 66+000	0.045	200	POTABLE	118.3512064	88.29
119	RAMAL MALACOTA; Km 67+000	0.05	230	POTABLE	151.2265416	112.815
120	RAMAL MALACOTA; Km 68+000	0.1	200	POTABLE	263.002681	196.2
121	RAMAL MALACOTA; Km 69+000	0.036	201	POTABLE	95.15436997	70.98516
122	RAMAL MALACOTA; Km 70+000	0.06	200	POTABLE	157.8016086	117.72
123	RAMAL MALACOTA; Km 71+000	0.065	208	POTABLE	177.7898123	132.8312
124	RAMAL MALACOTA; Km 72+000	0.06	231	POTABLE	182.2608579	135.9666
125	RAMAL MALACOTA; Km 73+000	0.035	204	POTABLE	93.8919571	70.0434
126	RAMAL MALACOTA; Km 74+500	0.073	252	POTABLE	241.909866	180.46476
127	RAMAL JILOTEPEC	0.014	215	POTABLE	39.58190349	29.5281
128	RAMAL JILOTEPEC	0.038	200	POTABLE	99.94101877	74.556
129	RAMAL JILOTEPEC	0.045	200	POTABLE	118.3512064	88.29
130	RAMAL JILOTEPEC; Km 65+150	0.1	241	POTABLE	316.9182306	236.421
131	RAMAL LOS REYES	0.105	205	POTABLE	283.0566354	211.16025
132	RAMAL LOS REYES	0.03	200	POTABLE	78.90080429	58.86
133	RAMAL LOS REYES	0.058	230	POTABLE	175.4227882	130.8654
134	RAMAL LOS REYES	0.056	200	POTABLE	147.2815013	109.872
135	RAMAL LOS REYES	0.058	281	POTABLE	214.3208847	159.88338
136	RAMAL LOS REYES	0.03	387	POTABLE	152.6730563	113.8941
137	RAMAL SANTO DOMINGO	0.051	300	POTABLE	201.1970509	150.093
138	RAMAL SANTO DOMINGO	0.053	401	POTABLE	279.4797889	208.49193
139	RAMAL SANTO DOMINGO	0.032	300	POTABLE	126.2412869	94.176
140	RAMAL SANTO DOMINGO	0.06	275	POTABLE	216.9772118	161.865
141	RAMAL SANTO DOMINGO	0.041	225	POTABLE	121.3099866	90.49725
142	RAMAL SANTO DOMINGO	0.028	255	POTABLE	93.8919571	70.0434
143	RAMAL SANTO DOMINGO	0.045	225	POTABLE	133.1481072	99.32625
144	RAMAL JOCOTITLAN ; Km 64+000	0.087	234	POTABLE	267.710429	199.71198
145	RAMAL JOCOTITLAN ; Km 63+100	0.035	202	POTABLE	92.97144772	69.3567
146	RAMAL JOCOTITLAN ; Km 62+100	0.033	350	POTABLE	151.8840483	113.3055
147	RAMAL JOCOTITLAN ; Km 61+000	0.064	250	POTABLE	210.4021448	156.96
148	RAMAL JOCOTITLAN ; Km 59+900	0.075	250	POTABLE	246.5650134	183.9375
149	RAMAL JOCOTITLAN ; Km 59+000	0.054	301	POTABLE	213.7422788	159.45174
150	RAMAL JOCOTITLAN ; Km 58+000	0.075	200	POTABLE	197.2520107	147.15
151	RAMAL JOCOTITLAN ; Km 56+500	0.049	180	POTABLE	122.427748	91.3311
152	RAMAL JOCOTITLAN ; Km 55+900	0.04	230	POTABLE	120.9812332	90.252
153	RAMAL JOCOTITLAN ; Km 55+000	0.09	220	POTABLE	260.3726542	194.238

CAPÍTULO 4

Tabla 12.c.- Pozos que forman el Sistema Lerma

**POZOS DE LA REGIÓN : AGUAS DEL LERMA
SUBREGIÓN : LERMA SUR**

NUM	UBICACIÓN	GASTO M3PS	PROF. M	CALIDAD DEL AGUA	POTENCIA HP	POTENCIA KW
1	RAMAL VIVEROS ; Km 5+000 SUR	0.0346	182	POTABLE	82.80902413	61.775532
2	RAMAL VIVEROS ; Km 5+000 SUR	0.0346	142	POTABLE	64.60923861	48.198492
3	RAMAL PARQUE ; Km 5+900 SUR	0.0346	250	POTABLE	113.7486595	84.8565
4	RAMAL PARQUE ; Km 6+100 SUR	0.033	300	POTABLE	130.1863271	97.119
5	RAMAL PARQUE ; Km 7+000 SUR	0.0238	195	POTABLE	61.02977212	45.52821
6	RAMAL PARQUE ; Km 7+300 SUR	0.06	300	POTABLE	236.7024129	176.58
7	RAMAL PARQUE ; Km 7+500 SUR	0.0704	186	POTABLE	172.1931153	128.456064
8	RAMAL PARQUE ; Km 8+000 SUR	0.0556	185	POTABLE	135.2622788	100.90566
9	RAMAL PARQUE ; Km 8+900 SUR	0.08	185	POTABLE	194.6219839	145.188
10	RAMAL VIVEROS ; Km 9+100 SUR	0.04	210	POTABLE	110.481126	82.404
11	RAMAL VIVEROS ; Km 9+950 SUR	0.04	200	POTABLE	105.2010724	78.48
12	RAMAL VIVEROS ; Km 10+600 SUR	0.03	150	POTABLE	59.17560322	44.145
13	RAMAL VIVEROS ; Km 11+000 SUR	0.03	150	POTABLE	59.17560322	44.145
14	RAMAL VIVEROS ; Km 11+200 SUR	0.03	191	POTABLE	75.3502681	56.2113
15	RAMAL VIVEROS ; Km 12+000 SUR	0.03	191	POTABLE	75.3502681	56.2113
16	RAMAL VIVEROS ; Km 12+500 SUR	0.03	205	POTABLE	80.8733244	60.3315
17	RAMAL VIVEROS ; Km 12+800 SUR	0.03	200	POTABLE	78.90080429	58.86
18	RAMAL TLAZALA ; Km 13+000 SUR	0.03	160	POTABLE	63.12064343	47.088
19	RAMAL VIVEROS ; COSTADO SUR POBL. TLAZALA	0.05	200	POTABLE	131.5013405	98.1
20	RAMAL TLAZALA ; Km 13+100 SUR	0.1	203	POTABLE	266.9477212	199.143
21	RAMAL TLAZALA ; Km 12+900 SUR	0.022	197	POTABLE	58.99268097	42.51654
22	RAMAL VIVEROS ; COSTADO SUR POBL. TLAZALA	0.035	112	POTABLE	51.54852547	38.4552
23	RAMAL VIVEROS ; Km 13+500 SUR	0.075	114	POTABLE	112.4336461	83.8755
24	RAMAL TLAZALA ; Km 13+600 SUR	0.05	171	POTABLE	112.4336461	83.8755
25	RAMAL TLAZALA ; Km 13+700 SUR	0.05	140	POTABLE	92.05093834	68.67
26	RAMAL TLAZALA ; Km 14+000 SUR	0.076	125	POTABLE	124.9262735	93.195
27	RAMAL TLAZALA ; Km 14+000 SUR	0.086	94	POTABLE	106.3056836	79.30404
28	RAMAL TLAZALA ; Km 14+500 SUR	0.137	112	POTABLE	201.7756568	150.52464
29	RAMAL TLAZALA ; Km 15+200 SUR	0.122	127	POTABLE	203.7481769	151.99614
30	RAMAL TLAZALA ; Km 15+400 SUR	0.086	217	POTABLE	245.4078016	183.07422
31	RAMAL TLAZALA ; Km 15+500 SUR	0.045	151	POTABLE	89.35516086	66.65895
32	RAMAL TLAZALA ; Km 15+800 SUR	0.086	115	POTABLE	130.0548257	97.0209
33	RAMAL TLAZALA ; Km 16+100 SUR	0.068	138	POTABLE	123.4008579	92.05704
34	RAMAL TLAZALA ; Km 16+150 SUR	0.93	113	POTABLE	1381.947587	1030.9329
35	RAMAL TLAZALA ; Km 16+250 SUR	0.062	72	POTABLE	58.70219839	43.79184
36	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 16+900 SUR	0.083	115	POTABLE	125.5180295	93.63645
37	RAMAL TLAZALA ; Km 17+000 SUR	0.166	120	POTABLE	261.9506702	195.4152
38	RAMAL TLAZALA ; Km 17+100 SUR	0.083	126	POTABLE	137.5241019	102.59298
39	RAMAL TLAZALA ; Km 17+100 SUR	0.111	125	POTABLE	182.4581099	136.11375
40	RAMAL TLAZALA ; Km 17+400 SUR	0.166	111	POTABLE	242.30437	180.75906
41	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 17+400 SUR	0.135	84.5	POTABLE	150.0101542	111.907575
42	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 17+600 SUR	0.081	72	POTABLE	76.69158177	57.21192
43	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 18+200 SUR	0.05	115	POTABLE	75.61327078	56.4075
44	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 18+900 SUR	0.05	201	POTABLE	132.1588472	98.5905
45	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 19+000 SUR	0.084	160	POTABLE	176.7378016	131.8464
46	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 19+100 SUR	0.05	260	POTABLE	170.9517426	127.53
47	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 19+500 SUR	0.05	206	POTABLE	135.4463807	101.043
48	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 20+000 SUR	0.111	80	POTABLE	116.7731903	87.1128
49	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 20+200 SUR	0.013	180	POTABLE	30.77131367	22.9554

CAPÍTULO 4

Tabla 12.d.- Pozos que forman el Sistema Lerma

**POZOS DE LA REGIÓN : AGUAS DEL LERMA
SUBREGIÓN :LERMA SUR**

NUM	UBICACIÓN	GASTO M3PS	PROF. M	CALIDAD DEL AGUA	POTENCIA HP	POTENCIA KW
50	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 20+400 SUR	0.05	78	POTABLE	51.28552279	38.259
51	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 20+600 SUR	0.078	311	POTABLE	318.9959517	237.97098
52	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 20+800 SUR	0.051	165	POTABLE	110.658378	82.55115
53	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 21+000 SUR	0.09	150	POTABLE	177.5268097	132.435
54	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 22+000 SUR	0.133	82	POTABLE	143.4153619	106.98786
55	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 22+300 SUR	0.81	150	POTABLE	1597.741287	1191.915
56	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 22+800 SUR	0.133	150	POTABLE	262.3451743	195.7095
57	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 23+100 SUR	0.066	126	POTABLE	109.3565147	81.57996
58	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 23+900 SUR	0.026	190.5	POTABLE	65.13261394	48.58893
59	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 24+100 SUR	0.033	170	POTABLE	73.77225201	55.0341
60	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 24+800 SUR	0.064	163	POTABLE	137.1821984	102.33792
61	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 25+000 SUR	0.046	250	NO POTABLE	151.2265416	112.815
62	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 25+500 SUR	0.045	258	POTABLE	152.6730563	113.8941
63	RAMAL ALMOLOYA 2 ; Km 26+500 SUR	0.043	258	NO POTABLE	145.8875871	108.83214
64	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 27+000 SUR	0.046	93	NO POTABLE	56.25627346	41.96718
65	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 27+500 SUR	0.046	93	POTABLE	56.25627346	41.96718
66	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 28+000 SUR	0.044	308	POTABLE	178.2106166	132.94512
67	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 22+100 SUR	0.1	308	POTABLE	405.0241287	302.148
68	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 22+200 SUR	0.016	162	POTABLE	34.08514745	25.42752
69	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 22+500 SUR	0.012	105	POTABLE	16.5691689	12.3606
70	RAMAL ALMOLOYA 1 ; Km 22+900 SUR	0.009	176	POTABLE	20.82981233	15.53904
71	RAMAL ALMOLOYA 1 ; CARR. SAN PEDRO T. MARQUESA	0.031	164	POTABLE	66.8552815	49.87404
72	RAMAL ALMOLOYA 1 ; ALTURA Km 25+200 SUR	0.036	183	POTABLE	86.63308311	64.62828
73	RAMAL ALMOLOYA 1 ; ALTURA Km 25+700 SUR	0.04	163	POTABLE	85.73887399	63.9612
74	RAMAL ALMOLOYA 1 ; ALTURA Km 26+200 SUR	0.04	163	POTABLE	85.73887399	63.9612
75	RAMAL ALMOLOYA 2 ; ALTURA Km 26+700 SUR	0.046	162	POTABLE	97.99479893	73.10412
76	RAMAL ALMOLOYA 1 ; ALTURA Km 27+000 SUR	0.072	215	POTABLE	203.5640751	151.8588
77	RAMAL ALMOLOYA 1 ; ALTURA Km 27+500 SUR	0.054	300	POTABLE	213.0321716	158.922
78	RAMAL ALMOLOYA 1 ; ALTURA Km 28+000 SUR	0.046	196	POTABLE	118.5616086	88.44696
79	RAMAL ALMOLOYA 1 ; ALTURA Km 28+200 SUR	0.045	300	POTABLE	177.5268097	132.435
80	RAMAL ALMOLOYA 1 ; ALTURA Km 28+800 SUR	0.111	172	NO POTABLE	251.0623592	187.29252
81	RAMAL ALMOLOYA 1 ; ALTURA Km 29+300 SUR	0.08	159	POTABLE	167.2697051	124.7832

Fuente: Los acuíferos del Alto Lerma, 1970.

Tabla 12.- Pozos que forman el Sistema Lerma.

Caudal Total disponible m3/s	15.8306
Potencia de pozos KW	28804.93917
Potencia estaciones de rebombes kw	6751.3
Potencia de Cárcamos kw	111.9
Potencia Total kw	35668.13917

KWH PROMEDIO AL DIA	856035.3402
---------------------	-------------

NOTA: Los pozos que dicen no potable o se especifica el valor, se les hace ablandamiento. al resto se le aplica cloración.

CAPÍTULO 4

La energía eléctrica que consume el sistema Lerma, la abastecen seis subestaciones eléctricas, tres del DDF y tres de la Compañía de Luz y Fuerza. El equipo instalado en los pozos, consiste en bombas verticales tipo turbina para pozo profundo. La potencia total de las estaciones de rebombeo y cárcamos, se muestra en la tabla 13.

Tabla 13.- Potencia de estaciones de rebombeo y cárcamos del sistema Lerma.

# DE BOMBAS	UBICACIÓN	CAUDAL m ³ /s	HP UNITARIO	HP TOTALES
7	JOSE ANTONIO ALZATE	1.5	1250	8750
2	ALMOLOYA	0.86	150	300
1	CÁRCAMO NORTE	0.15	50	50
1	CÁRCAMO CENTRO	0.15	50	50
1	CÁRCAMO SUR	0.15	50	50
TOTAL	12 BOMBAS CAPACES DE VENCER HASTA 123 M	12.67	9200 HP 7119.12 KW	

4.4. Costos.

Ya que no se cuenta con información precisa del Sistema Lerma, se calcularon los costos tomando en cuenta el caudal máximo disponible y el funcionamiento de todas las bombas al mismo tiempo. En la tabla 12 se puede ver que la potencia total es de 35,668.14 KW, lo que equivale a 312,452,899.2 KWH al año.

En la tabla 14 se presenta el desglose mes por mes del consumo de energía requerido por el sistema de bombeo, además de sus costos.

CAPÍTULO 4

Tabla 14.- Costos de bombeo para el Sistema Lerma 1998.

MES	DIAS	M3/S PROM	M3/MES	TARIFA O-M	KWH	\$
ENERO	31	15.83	42400679.04	PROMEDIO	26537095.55	
FEBRERO	28	15.83	38297387.52		23968989.53	
MARZO	31	15.83	42400679.04		26537095.55	
ABRIL	30	15.83	41032915.2		25681060.21	
MAYO	31	15.83	42400679.04		26537095.55	
JUNIO	30	15.83	41032915.2		25681060.21	
JULIO	31	15.83	42400679.04		26537095.55	
AGOSTO	31	15.83	42400679.04		26537095.55	
SEPTIEMBRE	30	15.83	41032915.2		25681060.21	
OCTUBRE	31	15.83	42400679.04		26537095.55	
NOVIEMBRE	30	15.83	41032915.2		25681060.21	
DICIEMBRE	31	15.83	42400679.04		26537095.55	
TOTAL	365	15.83	499233801.6	0.4449	312452899.2	139010294.8

Al aplicar las tarifas correspondientes, se obtiene un total de 139,010,294.8 pesos, que al dividirlos entre el caudal, resulta un costo de 0.278 \$/m³. En lo que concierne al sistema de potabilización del sistema Lerma, este sólo consiste en añadir cloro, por lo que al aplicar el índice correspondiente se tiene un costo de:

$$(499,233,801.6 \text{ m}^3)(0.053 \text{ pesos/m}^3) = 26,459,391.4848 \text{ pesos}$$

Así, el costo por traer agua potable del sistema Lerma a la ZMVM es de 0.331 \$/m³, donde el 83.9 % corresponde al transporte y el 16.1 % restante a la potabilización.

En la figura 9 se presenta una representación del sistema Lerma.

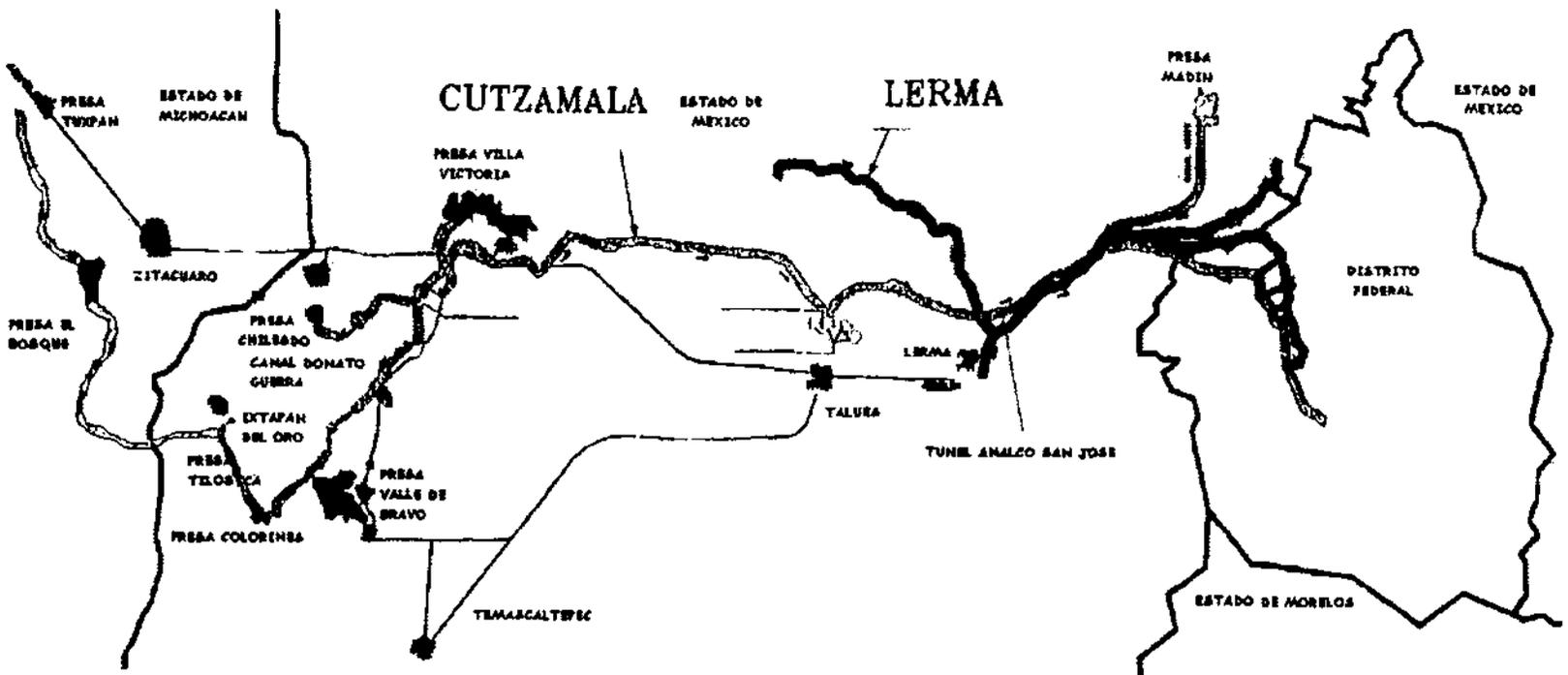


Figura 9.-
El sistema Lerma.

CAPÍTULO 5

FUENTES SUPERFICIALES.

Como se mencionó, el Valle de México es abastecido por cuatro fuentes, las dos anteriormente presentadas (o externas) y las fuentes superficiales y subterráneas (o internas). En este capítulo se habla de las fuentes superficiales, cuáles son y cómo se conforman. Se describe la calidad de su agua y cómo se desinfectan. Después se menciona la potencia de bombeo y el costo de la facturación energética por transporte. Por último, se presenta el costo de potabilización del agua.

5.1. Descripción de las fuentes.

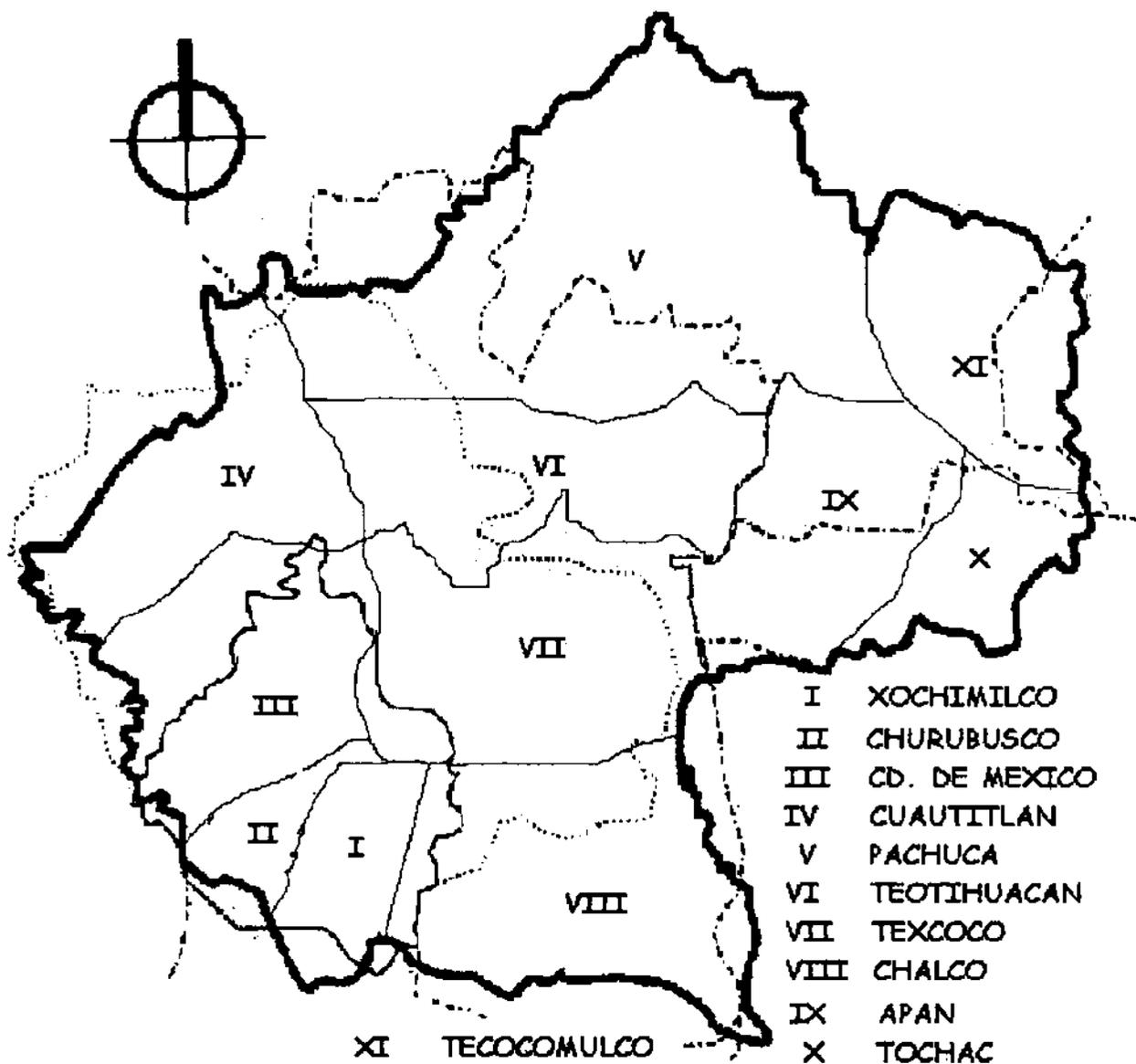
La cuenca del Valle de México, se puede dividir para su estudio⁸, en once zonas, las cuales se pueden ver en la figura 10 y se describen a continuación:

Zona I Xochimilco.

Esta abarca las cuencas de los ríos que descienden de la sierra de Chichinautzin, de formaciones basálticas de gran permeabilidad. Los principales ríos de la zona son: San Gregorio, San Lucas, Santiago y San Buenaventura, con una longitud de corrientes de 46.0 km. Tiene una superficie aproximada de 552 km² y una precipitación media anual de 869 mm.

⁸ Gerencia Regional de Agua en el Valle de México. "Diagnóstico de la región XIII, Valle de México, informe final". Tomo 1 y 2. 1997.

Figura 10.- División hidrológica de la cuenca del Valle de México.



CAPÍTULO 5

Zona II Churubusco.

Comprende principalmente las cuencas de los ríos Eslava, Magdalena, Barranca San Jerónimo, Anzaldo, Barranca Coyotes, Barranca Texcalatlaco, Barranca de Tetelpa, Barranca de Guadalupe, Barranca del Muerto, Tarango y Mixcoac. Debido a las características topográficas y morfológicas del lugar, los cauces son estables y el régimen de su corriente intermitente.

Zona III Cd. de México

Se constituye por las cuencas de los ríos Becerra, Tacubaya, Tecamachalco, San Joaquín, Tornillo, Hondo, Sordo, Barranca los Cuartos, Totolica, Chico de los Remedios, San Mateo Nopala, Barranca Tepaxtlaxco, Río de los Remedios, Tlalnepantla y San Javier. Incluye gran parte del área urbanizada de la ciudad de México y los ríos que bajan hacia ella desde el poniente de la subregión Valle de México. La gran mayoría de las corrientes son intermitentes, salvo los ríos Tacubaya, San Joaquín, Hondo y Tlalnepantla, los cuales tienen escurrimientos perenes. El volumen medio anual registrado en San Juan Ixhuatepec es de 50.9 millones de m^3 ($1.61 m^3/s$), concentrándose en la época de lluvias, de junio a octubre, el 73% de los escurrimientos (37.4 millones de m^3 o $2.84 m^3/s$), mientras que en estiaje, de enero a abril, el volumen medio es de 5.4 millones de m^3 ($0.51 m^3/s$). Cubre una extensión de $725 km^2$ y la longitud de las corrientes principales es de 57.5 km. Presenta una precipitación media anual de 822 mm.

Zona IV Cuautitlán

Esta zona abarca las cuencas de los ríos Tepozotlán y Cuautitlán, que se originan en el noroeste de la subregión Valle de México. Se trata de corrientes con escurrimientos perenes. El volumen medio anual registrado en Huehuetoca es de 87.3

CAPÍTULO 5

millones de m^3 ($2.77 m^3/s$), en la época de lluvias, de junio a octubre, mientras que en estiaje, de diciembre a abril, el volumen medio es de 6.0 millones de m^3 ($0.46 m^3/s$). Por otro lado, considerando la suma de los registros de las estaciones de los túneles de Tequixquiac, se tiene un volumen de escurrimientos medio anual de 598.4 millones de m^3 ($18.98 m^3/s$). Tiene una extensión de $972 km^2$, una longitud de corrientes principales de 60.0 km y presenta una precipitación media anual de 781 mm.

Zona V Pachuca.

Esta zona comprende prácticamente la cuenca del río de Las Avenidas de Pachuca, su cauce es estable y el régimen intermitente. El escurrimiento medio anual tiene un valor de 1.9 millones de m^3 ($0.06 m^3/s$), mientras que el volumen de escurrimiento en la época de lluvias, que se concentra de julio a septiembre, alcanza un valor de 1.4 millones de m^3 ($0.18 m^3/s$), equivalente al 74% del escurrimiento medio anual. La cuenca tiene una superficie de $2087 km^2$, una longitud de cauce principal de 122.5 km y una precipitación media anual de 501 mm.

Zona VI Teotihuacán

Corresponde a la cuenca del río San Juan Teotihuacán, cuyo cauce es estable y presenta un régimen perene. Se aprovechan los escurrimientos provenientes del colector principal. El escurrimiento medio anual es de 101 millones de m^3 ($3.2 m^3/s$). La época de lluvias abarca de julio a octubre y en este periodo los escurrimientos tienen un valor de 50.2 millones de m^3 ($4.78 m^3/s$), mientras que en el estiaje que se presenta de diciembre a mayo y alcanza un valor de 25.8 millones de m^3 ($1.96 m^3/s$). Esta zona tiene una extensión de $930 km^2$, con una longitud del cauce principal de 39.1 km, y una precipitación media anual de 555 mm.

CAPÍTULO 5

Zona VII Texcoco

En esta zona se incluyen los ríos que desembocan en el lago de Texcoco por el oriente, los cuales son: Papalotla, Xalapango, Coxcacaco, Texcoco, Chapingo, Bernardino, Santa Mónica, Tlalmimilolpan y Coatepec. Sus corrientes son estables y presentan, principalmente, un régimen perene debido a que en su mayoría conducen las aguas residuales de la Ciudad de México y su área conurbada. Registran un volumen de escurrimiento medio anual de 435.6 millones de m³ (13.81 m³/s), comprendiendo 170.2 millones de m³ (16.19 m³/s) en la época de lluvias y de 125.6 millones de m³ (9.56 m³/s) en la época de estiaje. Tiene una superficie de 1146 km², una longitud de corrientes principales de 47.8 km y una precipitación media anual de 635 mm.

Zona VIII Chalco

Se encuentra localizada en la porción sur - oriente de la cuenca, comprende los ríos Milpa Alta, Amecameca, Barranca Juchitepec, además del río de la Compañía y sus afluentes (San Francisco, arroyo Santo Domingo, Barrancas Popotla y Paso del Jagüey). Todas estas corrientes presentan un régimen perene y una condición de estabilidad debido a que parte de sus cauces han sido encauzados al ubicarse dentro del área urbana. Cubre una extensión de 1124 km², la longitud de los principales cauces es de 90 km y presenta una precipitación media anual de 979 mm.

Zona IX Apan.

Se encuentra localizada en la porción oriental de la subregión Valle de México y comprende las cuencas del río Tizar y el Arroyo Calpulalpan. Estas corrientes sólo tienen escurrimientos en épocas de lluvias, por lo que corresponden a un régimen hidrológico intermitente, sin embargo, sus cauces son estables, dado que se localizan en una zona de topografía escarpada con drenaje bien definido. Tiene una superficie

CAPÍTULO 5

de 637 km², con 39 km de corrientes principales y presenta una precipitación media anual de 700 mm.

Zona X Tochac

Comprende al conjunto de ríos y arroyos que alimentan a la Laguna de Tochac. Sus principales corrientes son: el río San Jorge, el río San Miguel y la Barranca del muerto, corrientes de carácter intermitente. Tiene una superficie de 690 km², con una longitud de corrientes principales de 25 km y una precipitación media anual es de 681 mm.

Zona XI Tecocomulco

Comprende los arroyos que alimentan a la Laguna de Tecocomulco, que son de tipo efímero e intermitente ya que sólo presentan escurrimientos en época de lluvias e incluyen algunos casos después de fuertes lluvias. Los cauces en su mayoría son estables. Esta zona cubre una extensión de 535 km², tiene una longitud de cauces principales de 7 km y una precipitación anual de 666 mm.

En la tabla 15, se presenta un resumen de las principales características, de las zonas antes mencionadas.

La cuenca del Valle de México no tiene una línea de drenaje general que la modele. Además de que, actualmente, por necesidades del drenaje sanitario de la gran ciudad, la mayor parte de las corrientes naturales se han canalizado o entubado, siendo el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad y el Gran Canal del Desagüe, sus colectores y emisores finales, hasta su descarga al Río Tula.

Tabla 15.- Principales características hidrográficas de la ZMVM.

ZONA HIDROLÓGICA	NOMBRE	LONGITUD km	VOLUMEN DE ESCURRIMIENTOS EN m ³ /s.		
			MEDIO ANUAL	LLUVIAS	ESTIAJE
I	XOCHIMILCO	46.0	S/D	S/D	S/D
II	CHURUBUSCO	28.0	0.155	0.297	0.0
III	CIUDAD DE MEXICO	57.5	1.614	2.846	0.513
			2.089	4.634	0.057
IV	CUAUTILÁN	60.0	2.768	5.936	0.457
			18.975	20.54	12.184
V	PACHUCA	122.5	0.060	0.177	0.0
VI	TEOTIHUACÁN	39.1	3.203	4.775	1.963
VII	TEXCOCO	47.8	13.813	16.191	9.558
VIII	CHALCO	90.0	0.181	0.342	0.019
IX	APAN	39.0	0.028	0.076	-
X	TOCHAC	25.0	-	-	-
XI	TECOCOMULCO	7.0	0.044	0.152	-

Fuente: SRH. Boletín Hidrológico del Valle de México, 1980.

Son tres los principales puntos de comunicación entre estas cuencas: el primero, el Tajo de Nochistongo, punto de descarga del Río Cuautitlán, al que a su vez, descarga el interceptor del poniente de la ciudad; los otros dos puntos de salida de la cuenca cerrada del Valle de México, son el Túnel Nuevo y el Tajo de Tequixquiac, a los que el Gran Canal del Desagüe descarga sus aguas, conduciéndolas a la presa Endhó (después de un gran recorrido), para ser una parte aprovechada para riego, en el Valle del Mezquital.

En la tabla 16, se presentan las presas con las que se cuenta y la utilización que se les da y en la figura 11, se presenta su ubicación.

5.2. Calidad del agua

Para el estudio de la calidad de las aguas superficiales, la Red Nacional de Monitoreo el Alto Pánuco, cuenta con 30 estaciones localizadas: 7 en el río Tula, 4 en el río Tepeji, 2 en el río Salado, 1 en el río Alfajayucan, 2 en el Gran Canal, 1 en el Canal Endhó, 1 en el río El Salto, 1 en el río Tlalnepantla, 2 en el río Cuautitlán, 1 en el río Tepetzotlán, 3 en el río La Compañía, 2 en el río de los remedios, 1 en el Canal Santo Tomás, 1 en el Emisor del Poniente y 1 en el río Churubusco.

Los valores del ICA, fueron obtenidos de un estudio integral de la Calidad del agua realizado por GRAVAMEX y permitieron determinar la calidad del agua superficial, en las principales corrientes y cuerpos de agua de la región.

La tabla 17, muestra los valores de calidad del agua en las estaciones de monitoreo. No se consideró los sólidos suspendidos totales SST, por lo que en la tabla 18, se presentarán sus valores aunque no intervienen en la valoración del ICA. Como se puede observar en la tabla 17, de los cuerpos de agua presentados, la presa Madín, tiene una calidad de agua aceptable, por lo que es utilizada para abastecer de agua potable al Valle.

En la Planta Madín, se aprovechan los escurrimientos del río Tlalnepantla y sus afluentes, los arroyos Sifón y Chiluca. Sirve además como reguladora y tiene una capacidad para almacenar 25 millones de m³ (0.80 m³/s). Los volúmenes regulados de los sistemas San Mateo y Madín son conducidos a la planta potabilizadora para después distribuirlos a la ciudad.

CAPÍTULO 5

Tabla 16.a.- Inventario de presas en el Valle de México

ZONA	ENTIDAD FEDERATIVA	DELEGACION O MUNICIPIO	PRESA	CORRIENTE	CAPACIDADES (MNILLONES DE M3)				PROPOSITO	SUP DE RIEGO H
					TOTAL	UTIL.	AZOLVES	SUP. ALM		
ZM	DISTRITO FEDERAL	ALVARO OBREGON	ANZALDO	R. MAGDALENA	0.21	0.16	0.02	0.03	CONTROL DE AVENIDAS	0
		ALVARO OBREGON	ATLAMAYA	R. GUADALUPE	0.06	0.05		0.01	CONTROL DE AVENIDAS	0
		ALVARO OBREGON	BECERRA	R. BECERRA	0.23	0.19	0.04	0.05	CONTROL DE AVENIDAS	0
		MAGDALENA CONTRERAS	BECERRA A	R. BECERRA	0.01	0.01			CONTROL DE AVENIDAS	0
		ALVARO OBREGON	BECERRA B	R. BECERRA	0.01	0.01			CONTROL DE AVENIDAS	0
		MAGDALENA CONTRERAS	COYOTES	A. COYOTES	0.02	0.02			DERIVACION	0
		MIGUEL HIDALGO	DOLORES	A. DOLORES	0.28	0.28			CONTROL DE AVENIDAS	0
		ALVARO OBREGON	LA MINA	R. TEQUILASCO	0.1	0.1			CONTROL DE AVENIDAS	0
		ALVARO OBREGON	MIXCOAC	R. MIXCOAC	1.11	0.62	0.29	0.2	CONTROL DE AVENIDAS	0
		ALVARO OBREGON	OLIVAR DE LAS FLORES	R. OLIVAR DE LAS FLORES	0.01	0.01			CONTROL DE AVENIDAS	0
		ALVARO OBREGON	PILARES	R. PILARES	0.03	0.02		0.01	CONTROL DE AVENIDAS	0
		ALVARO OBREGON	SAN JOAQUIN	R. SAN JOAQUIN	100	0.5	0.2	0.3	CONTROL DE AVENIDAS	0
		XOCHIMILCO	SAN LUCAS	R. SAN LUCAS	0.8	0.64	0.16		CONTROL DE AVENIDAS	0
		ALVARO OBREGON	TACUBAYA	R. TACUBAYA	1.00	0.7	0.17	0.13	CONTROL DE AVENIDAS	0
		ALVARO OBREGON	TARANGO	A. DEL MUERTO	0.28	0.27		0.01	CONTROL DE AVENIDAS	0
MAGDALENA CONTRERAS	TEXCALATLACO	R. TEXCALATLACO	0.12	0.09	0.01	0.02	CONTROL DE AVENIDAS	0		
ALVARO OBREGON	TECAMACHALCO	R. TECAMACHALCO	0.51	0.41		0.1	CONTROL DE AVENIDAS	0		
ALVARO OBREGON	EL TORNILLO	A. EL TORNILLO					CONTROL DE AVENIDAS	0		
TOTAL					5.78	4.08	0.89	0.86		0
MEX		CUAUTITLAN	ANGULO	A. TEJOCOTES	1.5				ABREVADERO	32
		OTUMBA	BELEN	A. BELEN	0.5				RIEGO	10
		HUIXQUILUCAN	EL CAPULIN	R. SAN JOAQUIN	0.5	0.3	0.05	0.15	CONTROL DE AVENIDAS	0
		IXTAPALUCA	CHIHUAHUA	R. SAN FRANCISCO	0.3				CONTROL DE AVENIDAS	0
		ATIZAPAN ZARAGOZA	LA COLMENA	R. LA COLMENA	0	0			GEN. DE ENERGIA	0
		TEPOTZOTLAN	LA CONCEPCION	R. TEPOTZOTLAN	13.8	10.5	1.5	1.8	RIEGO	965
		HUEHUETOCA	CUEVECILLAS	A. LA CANTERA	1				ABREVADERO	0
		CUAUTITLAN	GUADALUPE	R. CUAUTITLAN	68.2	57	1.4	37	RIEGO	634
		HUIXQUILUCAN	HONDO	R. HONDO	0.08	0.08			DERIVACION	0
		JILOTZINGO	ITURBIDE	R. CAÑADA ROA	1.5	0.98	0.2	0.32	RIEGO	2
		ATIZAPAN DE SARAGOZA	LARA	A. EL NEGRO					ABREVADERO	0
		TEXCOCO	OCOTOXCO	A. OCOTOXCO	0.07	0.06	0.01		CONTROL DE AVENIDAS	0
		ATIZAPAN DE SARAGOZA	LAS RUINAS	R. SAN JAVIER	0.2	0.12	0.08		CONTROL DE AVENIDAS	0
		ATIZAPAN DE SARAGOZA	SAN JUAN	R. SAN JAVIER	0.24				CONTROL DE AVENIDAS	0
		TLALNEPANTLA	VASO DE CARRETAS	R. DE LOS REMEDIOS	0.95				CONTROL DE AVENIDAS	42
		TLALNEPANTLA	VASO DE CRISTO	R. CANCO DE LOS REMEDIOS	3.99	3	0.5	0.19	CONTROL DE AVENIDAS	0
		TLALNEPANTLA	VASO DE FRESNOS	R. DE LOS REMEDIOS	0.75	0.75			CONTROL DE AVENIDAS	0
		TLALNEPANTLA	MADIN	R. TLALNEPANTLA	24.7	14	2.6	4.7	AGUA POT Y CON AVE	
		MEXICALPAN DE JARQUEZ	LA COLORADA	R. SAN MATEO	0.24	0.2	0.04		CONTROL DE AVENIDAS	
		MEXICALPAN DE JARQUEZ	EL COLORADO	R. COLORADO	0.25	0.13	0.12		CONTROL DE AVENIDAS	
MEXICALPAN DE JARQUEZ	LOS CUARTOS	R. DE LOS CUARTOS	1	0.8	0.12		CONTROL DE AVENIDAS			
MEXICALPAN DE JARQUEZ	LA JULIANAS	R. CANCO DE LOS REMEDIOS	0.28	0.24		0.04	CONTROL DE AVENIDAS			
MEXICALPAN DE JARQUEZ	EL SORDO	R. EL SORDO	0.6	0.45	0.1	0.05	CONTROL DE AVENIDAS			
MEXICALPAN DE JARQUEZ	TEXCOCO	A. SANTA ROSA	0.53				RIEGO			
MEXICALPAN DE JARQUEZ	TOTOLICA	R. TOTOLICA	2.1	1.7	0.2	0.2	CONTROL DE AVENIDAS			
TOTAL					121.01	91.46	7	44.85		7,914.0
TOTAL ZMCM					128.79	95.54	7.89	45.71		7,914.0
PACHUCA		SINGUILUCAN	EL ALAMBIQUE	A. SIN NOMBRE	0.33	0.31	0.02		RIEGO	58
		ZEMPUALA	LOS ARCOS	A. SIN NOMBRE	0.1				ABREVADERO	0
		ZEMPUALA	LOS CHOPOS	A. SIN NOMBRE	0.2				ABREVADERO	0
		EPAZOYUCAN	EL GIRON	R. DE LA MORA	1.45	1.27	0.06	0.12	RIEGO	227
		ZAPOTLAN DE JARQUEZ	HUATONGO	A.BCA. DE HONDONES	1.86	1.76	0.1		RIEGO	376
		TIZAYUCA	EL MANANTIAL	R. AVENIDAS	2	1.75	0.25	0.7	CON AVENIDAS Y RIEGO	60
		ZAPOTLAN DE JARQUEZ	SAN ISIDRO	A.BCA. DEL TECOLOTE	0.75	0.64	0.11		RIEGO	346
		SINGUILUCAN	SAN JOAQUIN	A. SAN JOAQUIN	0.28	0.25	0.03		RIEGO	25
		ZAPOTLAN DE JARQUEZ	SAN PEDRO	A. SAN PEDRO	0.67	0.54	0.06	0.07	RIEGO	100
		EPAZOYUCAN	LA JOYA	A. SIN NOMBRE	0.14	0.12	0.02		RIEGO	24
		EPAZOYUCAN	EL CASCABEL	A. SIN NOMBRE	0.32	0.3	0.02		RIEGO	58
		EPAZOYUCAN	ISLAS	A. SIN NOMBRE	0.3				RIEGO	0
		MINERAL DEL MONTE	EL COLIBRI	A. SIN NOMBRE	0.27	0.22	0.05		RIEGO	48
MINERAL DEL MONTE	SANTA ROSALIA		0.35				RIEGO			
ZEMPOALA	EL PROGRESO		0.33	0.28	0.05		RIEGO	59		
TOTAL PACHUCA					9.35	7.44	0.77	0.89		1,850.0

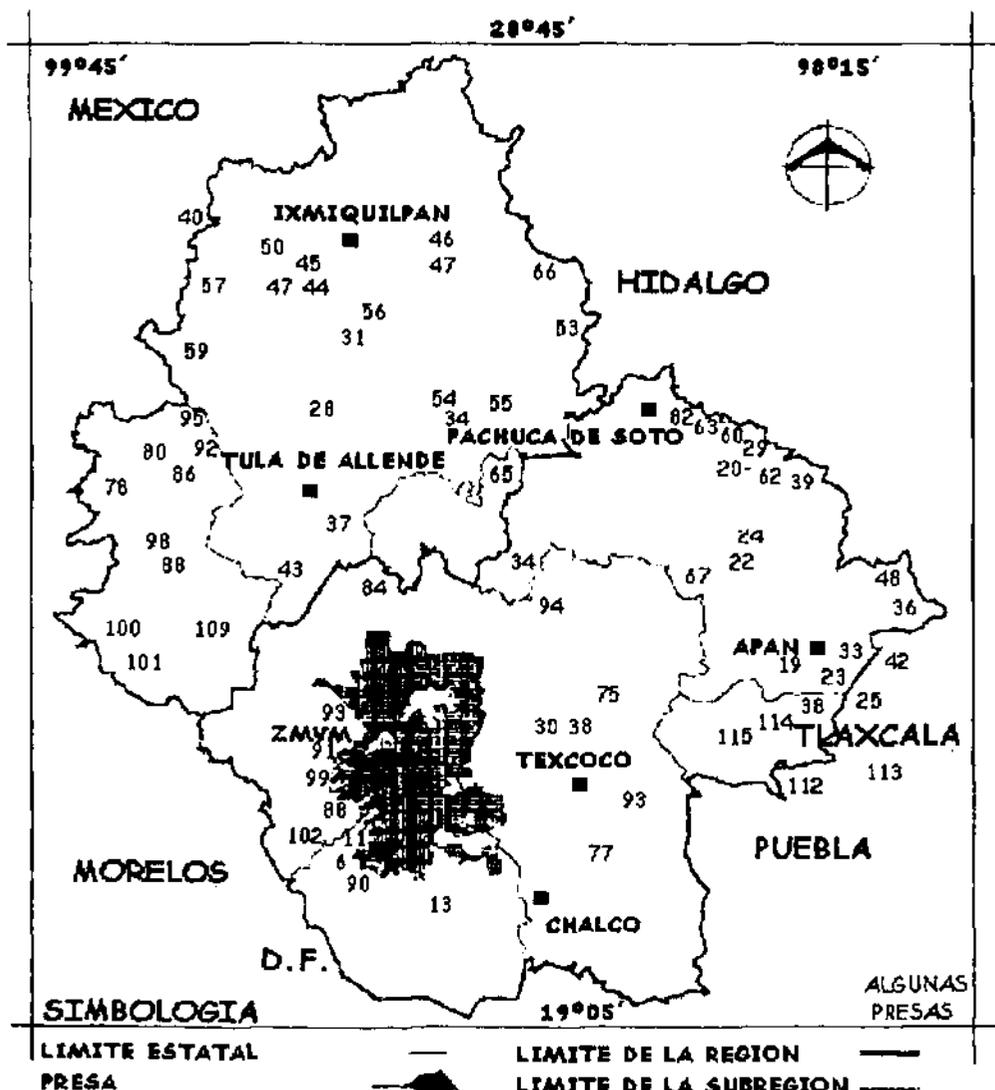
CAPÍTULO 5

Tabla 16.b.- Inventario de presas en el Valle de México

A P A N	H I D A L G O	APAN	EL AGUILA	A. EL AGUILA	0.93	0.78	0.15		RIEGO	9
		ALMOLOYA	ALMOLOYA	A. CERRO CORONILLA	0.39	0.34	0.05		RIEGO	103
		ALMOLOYA	BUENAVISTA	A. JOLQAPAN	0.11	0.1	0.01		RIEGO	50.6
		ALMOLOYA	LA CORONILLA	A. C. V. MEXICO	0.17	0.15	0.02		RIEGO	13
		ALMOLOYA	LOPEZ MATEOS	A. BCA ALMOLOYA	0.24	0.2	0.04		RIEGO	78
		APAN	METLAPIL	VARIOS	0.86	0.73	0.13		RIEGO	62
		ALMOLOYA	S. TETLAPAYAC	A. C. V. MEXICO	0.43	0.19	0.03	0.21	RIEGO	79
		ALMOLOYA	EL TEZOYO	A. TEPOZAN	11.2	10.52	0.68		RIEGO	0
		APAN	ALCANTARILLAS	A. HUESO Y A. PUERCO	1.2	1.02	0.18		RIEGO	104
		TOTAL				15.93	14.03	1.29		
TLAXCALA	NANACAMILPA	POZUELOS	A. SAN JOSE	0.94	0.81	0.13	1.25	RIEGO	165	
	NANACAMILPA	SAN FELIPE H	A. SAN FELIPE	0.35	0.32	0.03	0.48	RIEGO	20	
	SANCTRUM L.	LA CAÑADA	A. AXOCOPA	2.1	1.77	0.32		RIEGO	111	
	CALPULALPAN	MAZAPA	A. MAZAPA	0.18	0.16	0.02	0.26	RIEGO	24	
TOTAL				3.57	3.06	0.5			320	
TOTAL APAN				19.1	17.09	1.79	2.2		816.6	

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1982.

Figura 11.- Localización de presas



CAPÍTULO 5

Tabla 17.- Clasificación de calidad de agua en las estaciones de monitoreo.

NOMBRE DE LA ESTACION	CORRIENTE	ICA MINIMO ESTIAJE	ICA MAXIMO RESTO DEL AÑO	CALIFICACION GENERAL DE LA CALIDAD ESTIAJE	CALIFICACION GENERAL DE LA CALIDAD RESTO
KM 8 + 500	GRAN CANAL	29	39	INACEPTABLE	INACEPTABLE
KM 27 + 500	GRAN CANAL	23	39	INACEPTABLE	INACEPTABLE
LAGO DE TEXCOCO	RIO CHURUBUSCO	25	42	INACEPTABLE	FUERTEMENTE CONTAMINADA
PUENTE XOCHIACA	RIO DE LA COMPAÑIA	29	44	INACEPTABLE	FUERTEMENTE CONTAMINADA
SAN LUCAS	RIO DE LA COMPAÑIA	29	44	INACEPTABLE	FUERTEMENTE CONTAMINADA
SAN JUAN IXHUATEPEC	RIO DE LOS REMEDIOS	28	46	INACEPTABLE	FUERTEMENTE CONTAMINADA
PUENTE DE VIGAS	RIO DE LOS REMEDIOS	25	45	INACEPTABLE	FUERTEMENTE CONTAMINADA
PRESA GUADALUPE	RIO CUAUTITLAN	32	59	INACEPTABLE	CONTAMINADA
SAN LORENZO	RIO CUAUTITLAN	27	40	INACEPTABLE	FUERTEMENTE CONTAMINADA
PRESA CONCEPCION	RIO TEPOTZOTLAN	33	57	INACEPTABLE	CONTAMINADA
A.A. DE LA PRESA MADIN	RIO TLANEPANTLA	63	78	CONTAMINADA	ACEPTABLE
PORTAL DE SALIDA	EMISOR PONIENTE	27	46	INACEPTABLE	FUERTEMENTE CONTAMINADA
OBRA DE TOMA	CANAL DE SANTO TOMAS	22	50	INACEPTABLE	CONTAMINADA
CARRETERA LECHERIA LOS REYES	RIO DE SAN JUAN TEOTIHUACAN	24	48	INACEPTABLE	FUERTEMENTE CONTAMINADA
DESCARGA DEL EMISOR CENTRAL	EMISOR CENTRAL	27	46	INACEPTABLE	FUERTEMENTE CONTAMINADA
PTE. RIO TEPEJI	RIO TEPEJI	30	59	INACEPTABLE	CONTAMINADA
PRESA REQUENA	RIO TEPEJI	50	55	CONTAMINADA	CONTAMINADA
PUENTE CIUDAD COOPERATIVA CRUZ AZUL	RIO TULA	22	31	INACEPTABLE	INACEPTABLE
PTE. CIUDAD DE TULA DE ALLENDE	RIO TULA	20	26	INACEPTABLE	INACEPTABLE
DESCARGA REFINERIA "TULA"	RIO TULA	31	39	INACEPTABLE	INACEPTABLE
KM 0+000 CANAL ENDHO	RIO TULA	29	43	INACEPTABLE	FUERTEMENTE CONTAMINADA
DESCARGA TERMOELECTRICA TULA	CANAL ENDHO	20	30	INACEPTABLE	INACEPTABLE
PTE. DE LA CD. DE ALFAJAYUCAN	RIO TULA	41	64	FUERTEMENTE CONTAMINADAS	CONTAMINADA
OBRA DE TOMA PRESA ROJO GOMEZ	RIO ALFAJAYUCAN	35	60	INACEPTABLE	CONTAMINADA
PTE. ESTACION PSICOLA TEZONTEPEC DE ALDAMA	RIO TULA	41	52	FUERTEMENTE CONTAMINADAS	CONTAMINADA
PTE. CARRETERA EL REFUGIO CONEJOS	RIO SALADO	18	30	INACEPTABLE	INACEPTABLE
PTE. CAR. MIXQUIAHUALA CHILCUATLA	RIO TULA	25	48	INACEPTABLE	FUERTEMENTE CONTAMINADA
PTE. DE LA CIUDAD DE IXMIQUILPAN	RIO TULA	44	58	FUERTEMENTE CONTAMINADAS	CONTAMINADA
PRESA ROJO GOMEZ	RIO ALFAJAYUCAN	35	60	INACEPTABLE	CONTAMINADA
PRESA SAN VICENTE AGUIRRE	RIO ALFAJAYUCAN	34	66	INACEPTABLE	CONTAMINADA

CAPÍTULO 5

Tabla 18.- Clasificación de las corrientes por sólidos suspendidos totales

CORRIENTE	IC PARA SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	CALIFICACION PARA USO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	CLARIFICACION PARA USO INDUSTRIAL Y AGRICOLA
RIO SALTO	35	NO ACEPTABLE	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
RIO LOS REMEDIOS	29	NO ACEPTABLE	USO MUY RESTRINGIDO
RIO SALADO	42	DUDOSO	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
RIO TEPEJI	58	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
RIO TEPOTZOTLAN	154		
RIO TLANEPANTLA	45	DUDOSO	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
RIO TULA	66	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
CANAL ENDHO	37	NO ACEPTABLE	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
CANAL SANTO TOMAS	35	NO ACEPTABLE	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
EMISOR DEL PONIENTE	33	NO ACEPTABLE	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
GRAN CANAL	50	DUDOSO	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
RIO ALFAJAYUCAN	76	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	LA PURIFICACION PARA ALGUNOS PROCESOS
RIO CUAUTITLAN	66	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL
RIO CHURUBUSCO	38	NO ACEPTABLE	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA
RIO DE LA COMPAÑIA	29	NO ACEPTABLE	USO MUY RESTRINGIDO
RIO DE LOS REMEDIOS	30	NO ACEPTABLE	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1982.

CAPÍTULO 5

Tabla 19.- Contaminantes principales

CORRIENTE	COLIFORMES FECALES	COLIFORMES TOTALES	DBO5	DUREZA	GRASAS	AMONIACO	OXIGENO DISUELTO	TURBIEDAD
GRAN CANAL			X		X	X	X	X
CANAL ENDHO	X	X	X	X	X	X	X	X
RÍO TULA	X	X	X		X		X	X
RÍO TULA	X	X		X			X	X
RÍO TULA	X	X	X	X			X	X
RÍO TULA	X	X	X			X	X	X
RÍO TULA	X	X	X		X	X	X	X
RÍO TULA	X	X	X		X	X	X	X
RÍO TEPEJI	X	X	X		X		X	X
RÍO SALADO	X	X	X		X	X	X	X
RÍO SALADO	X	X	X	X			X	X
RÍO TULA	X	X		X			X	X
RÍO ALFAYUCAN	X	X	X				X	X
RÍO ALFAYUCAN	X	X	X			X	X	X
RÍO TEPEJI	X	X	X		X		X	X
RÍO TEPEJI	X	X	X	X	X	X	X	X
RÍO EL SALTO	X	X	X		X	X	X	X
RÍO STO TOMAS			X		X	X		X
RÍO CUAUTILÁN	X	X					X	X
RÍO CUAUTILÁN	X	X					X	X
RÍO TEPOZOTLÁN	X	X					X	X
RÍO TLALNEPANTLA			X					X
RÍO DE LA COMPAÑIA			X					X
RÍO DE LOS REMEDIOS			X		X	X		X
RÍO DE LA COMPAÑIA			X		X	X		X
RÍO DE LA COMPAÑIA			X				X	X
RÍO CHURUBUSCO			X		X	X		X
RÍO REMEDIOS			X			X		X
GRAN CANAL			X		X	X		X
EMISOR PONENTE			X		X	X		X

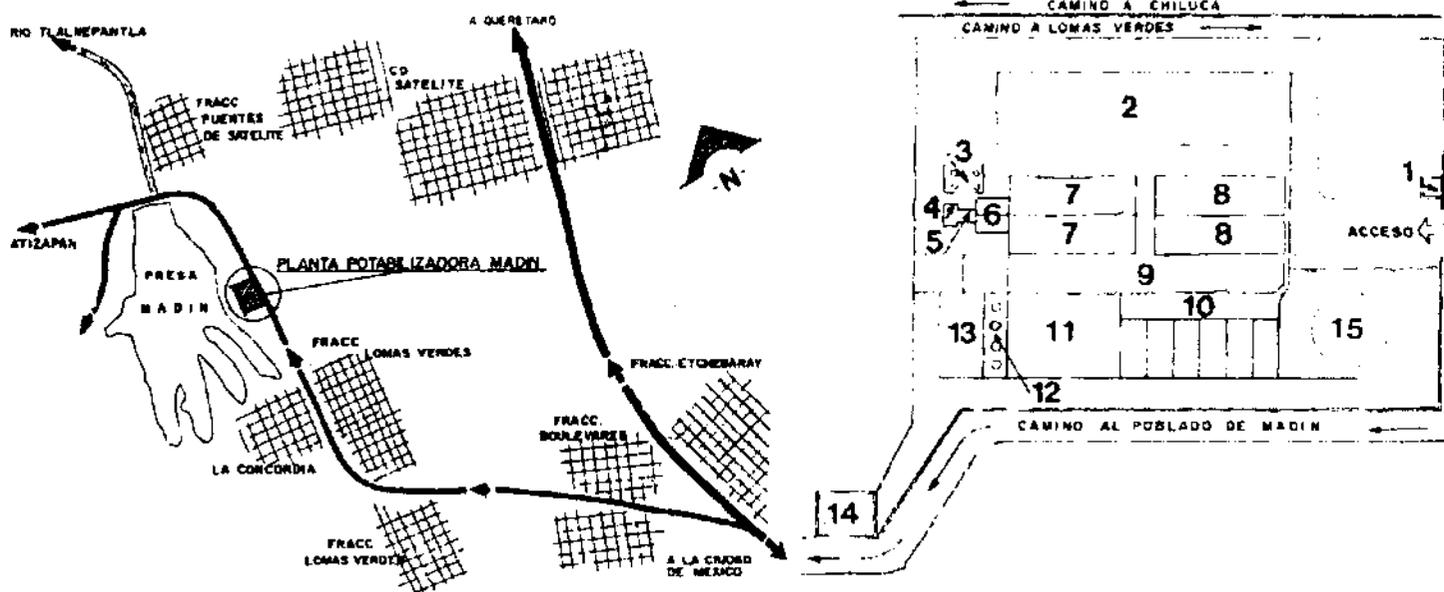
Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1982.

CAPÍTULO 5

Sobre el río Tlalnepantla a la salida de la presa, se localiza una estación de monitoreo, con cuyos registros se determinó un ICA promedio de 63 y 79, lo que le clasifica como un cuerpo de agua contaminada en época de estiaje y aceptable el resto del año. Por lo tanto, para uso urbano, requiere tratamiento de potabilización (floculación, sedimentación, filtrado y clorado), no así para algunas actividades agrícolas e industriales.

Actualmente, la planta Madín procesa $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua, siendo ésta la mayor de las fuentes superficiales, al beneficiar a una población de 155,000 habitantes. En las figuras 12 y 13, se puede observar la localización y como está formada la planta.

Fig. 12.- Croquis de localización. Fig. 13.- Planta potabilizadora Madín.



Donde: 1 Caseta de vigilancia. 2 Oficinas y laboratorio. 3 Almacén de sulfato líquido. 4 Caja amortiguadora. 5 Medidor Parshall. 6 Mezcla rápida. 7 Floculadores. 8 Sedimentadores. 9 Patio de tuberías. 10 Filtros. 11 Tanque de agua potable. 12 Planta de bombeo de agua potable. 13 Almacén de cloro. 14 Subestación eléctrica. 15 Sedimentador de contacto de sólidos.

CAPÍTULO 5

En las tablas 20 y 21, se muestran las presas que cuentan con sistemas de tratamiento de agua y qué tipo de tratamiento se les aplica.

Tabla 20. - Procesos de tratamiento en plantas potabilizadoras.

ZONA	PLANTA	Q m ³ /s	CLARIFICACIÓN	AIREACIÓN	OZONACIÓN	CLORACIÓN	RECLOCIÓN
LERMA	ALMOLOYA DEL RIO	5.2				*	
	STA. MA. ATARASQUILLO	9.3				*	
PONIENTE	EL VENADO	22.0					*
	EL CONEJO	5.2					*
	EL CARTERO	3.0					*
CENTRO	CAMPAMENTO PALMAS	22.0					*
	RIO MAGDALENA	0.2	*			*	
NORTE	SAN JUANICO	5.2				*	
SUR	Sr. LUIS TLAXIATEMALCO	5.2				*	
	LA NORIA	4.5				*	
CENTRO	CERRO DE LA ESTRELLA	8.6					*
	XOTEPINGO	6.7					*
ORIENTE	ING. FRANCISO G.	0.5		*	*	*	
	MANANTIALES	1.0				*	
CENTRO	POZOS MUNICIPALES	15.0				*	
	EL PEÑON	2.0				*	
ORIENTE	ING. MANUEL M.	0.3	*			*	
	ING. ROBERTO V.	0.1		*	*	*	

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1997.

5.3. Costos.

Como las fuentes superficiales se encuentran dentro del Valle de México no es necesario ocupar equipo de bombeo para trasladarla. Por lo cual, sólo se calculó el costo por el tratamiento de agua.

CAPÍTULO 5

Tabla 21.- Resumen de plantas potabilizadoras.

ENTIDAD FEDERAL	MUNICIPIO	LOCALIDAD	No. PLANTAS	PLANTAS EN OPERACIÓN	PROCESO DE TRATAMIENTO	GASTO m ³ /S OPERACIÓN
DISTRITO FEDERAL	M. CONTRERAS	RIO MAGDALENA	1	1	CONVENCIONAL	0.20
	IZTACALCO	A. GRÍCOLA O.	1	1	CONVENCIONAL	0.10
	IZTAPALAPA	S. C. MEYEHUALCO	1	1	CONVENCIONAL	0.05
	TLAHUAC	S. CATARINA	1	1	CONVENCIONAL	0.20
SUB TOTAL			4	4		0.55
EDO MÉXICO	NAUCALPAN	MADIN	1	1	FLOCULACIÓN- SEDIMENTACIÓN	0.5
SUB TOTAL			1	1		0.5
TLAXCALA	NO EXISTEN POTABILIZADORAS					
HIDALGO	PACHUCA H.	PACHUCA	1	1	CONVENCIONAL	0.04
SUB TOTAL			1	1		0.04
TOTAL			5	5		1.09

Fuente Comisión Nacional del Agua, 1990.

Todos los sistemas superficiales son potabilizados por floculación, sedimentación, filtración y cloración (tabla 21), por lo que sólo se le aplicó el factor de 0.16 \$/m³ al promedio total del caudal manejado, es decir, a los 1.2 m³/s de agua mencionados en la introducción del trabajo (volumen al año). Esto en términos numéricos corresponde a:

$$(37,843,200 \text{ m}^3)(0.16 \text{ pesos/m}^3) = 6,054,912 \text{ pesos}$$

El costo de usar agua potable de los abastecimientos superficiales dentro del Valle es de 0.16 \$/m³, de los cuales el 100 % es para potabilización.

CAPÍTULO 6

FUENTES SUBTERRÁNEAS.

Este capítulo trata de las fuentes de abastecimiento subterráneas. Aquí se da una explicación de cuáles son, de cómo es la calidad del agua y de cómo se tratan para el consumo humano. Se describen las bombas utilizadas y el costo total de la facturación energética por su operación.

6.1. Descripción de las fuentes.

No existen datos suficientes para determinar el régimen de las aguas subterráneas en el Valle y por lo tanto, no se conoce con precisión su distribución y el volumen de agua que podría aprovecharse, sin alterar el equilibrio de estos acuíferos.

La principal fuente de recarga natural es la precipitación pluvial. Otro tipo de recarga no natural es la derivada de las fugas en la red de distribución de agua potable y drenaje, pero esta no ha sido demostrado y se cree que no ocurre por los volúmenes de agua que se descargan por el drenaje.

Los macizos montañosos sirven como receptores de recarga natural, que transmiten el flujo infiltrado hacia las partes bajas de la cuenca. Las superficies de recarga de mayor importancia se sitúan en las sierras que son limítrofes del Valle hacia el oriente y el sur, las cuales, tienen una precipitación pluvial superior a 600 mm/año.

CAPÍTULO 6

Debido a que las rocas ígneas fracturadas presentan una gran permeabilidad, se concluye que el agua infiltrada a las sierras, penetra a los acuíferos del Valle.

Las vías de circulación que actúan como drenes colectores de los materiales próximos de menor permeabilidad son las fracturas, los tubos de flujo y los derrames lávicos.

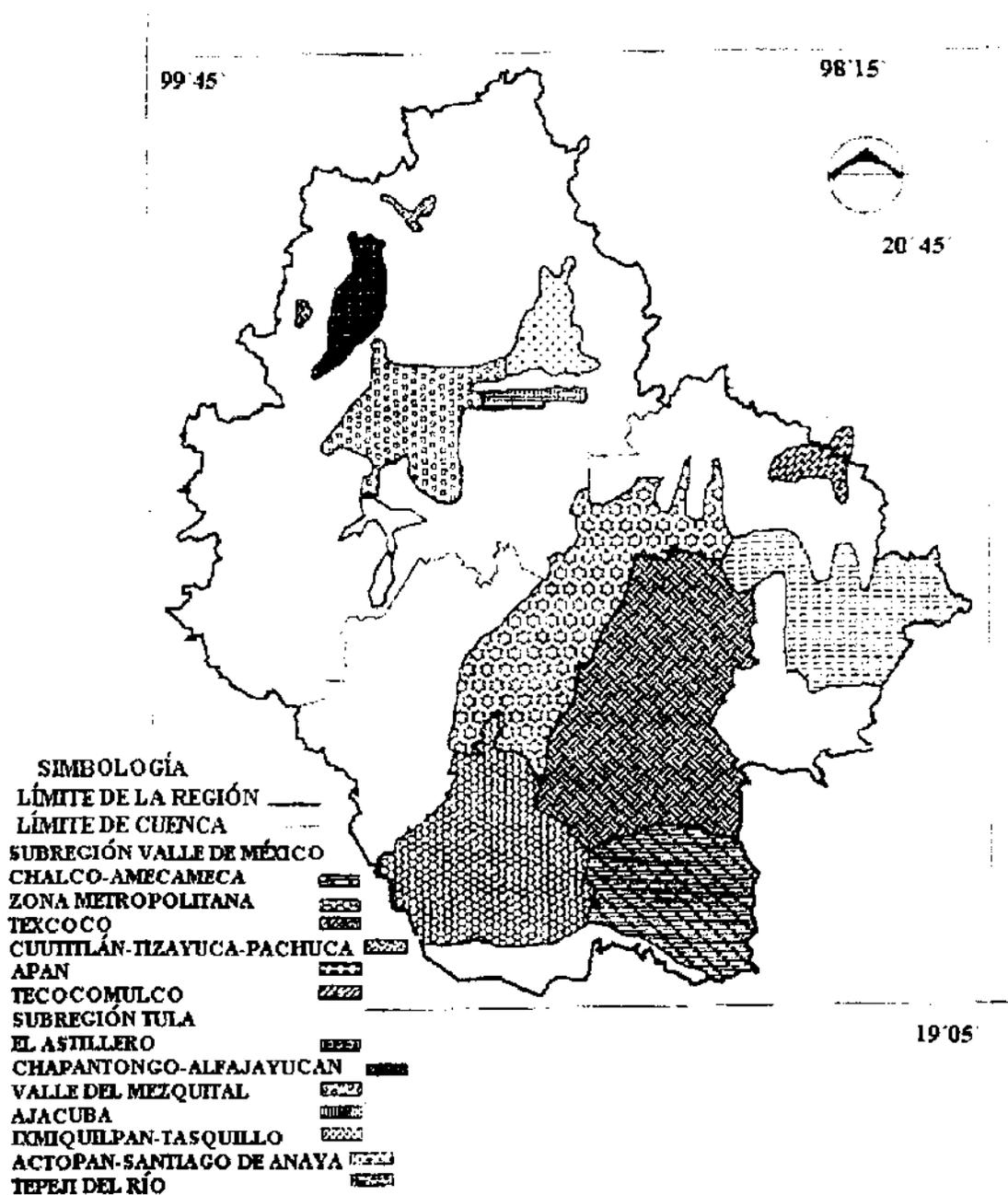
Según el "Diagnóstico de la región XIII" de la CNA (1997), la recarga originada por las fugas en las redes de distribución de agua potable y alcantarillado, forma una especie de bóvedas en el manto freático provocando flujo descendente en la zona saturada regional.

Los depósitos lacustres, constituyen acuitardos que almacenan grandes cantidades de agua; ya sea de forma natural o por bombeo, proporcionando importantes volúmenes de agua a los acuíferos cercanos.

La parte inferior del relleno se encuentra conformado por el aluvión antiguo, mezclado en algunas zonas con la formación Tarango, su espesor es de varios cientos de metros en el centro del Valle y se comporta como un acuífero semiconfinado en la parte superior por los depósitos lacustres.

En la antigüedad, cuando la cuenca no estaba cerrada por la Sierra de Chichinautzin, el agua circulaba hacia el sur en el subsuelo del Valle. De acuerdo con estudios recientes, la salida no fue obturada en forma total y quedaron abiertos valles sepultados o zonas por donde el agua subterránea continua escapando.

Figura 14.- División hidrológica de la cuenca del Valle de México.



CAPÍTULO 6

En este siglo la descarga natural del acuífero, que se daba a través de la evapotranspiración, se redujo conforme la explotación provocó el descenso de los niveles de agua; por lo que los lagos se fueron secando hasta su desaparición. En años recientes el acuífero está siendo casi totalmente drenado por los pozos y la evapotranspiración ocurre sólo en áreas donde el nivel freático es superficial.

La cuenca del Valle, para su estudio, se dividió en seis subsistemas de acuíferos, los cuales se muestran en la figura 14.⁹

6.1.1. Zona Metropolitana

La recarga en la zona de la ciudad se presenta en el área del Ajusco, la Sierra de Guadalupe y la Sierra Chichinautzin. Los mayores abatimientos se encuentran en la franja ubicada entre el Cerro de la Estrella y Tlalpan (-45 m), en tanto que en la zona centro es menor (-10 m). Se trata de un acuífero semiconfinado con un área de recarga de 1825 km², en el que la extracción es de 890.23 millones de m³/año (28.23 m³/s), contra una recarga de apenas 224 millones de m³/año (7.10 m³/s), lo que establece una condición geohidrológica de sobreexplotación. De acuerdo con la información proporcionada por la Gerencia de Aguas Subterráneas existen 1626 aprovechamientos para diversos usos.

6.1.2. Zona Chalco - Amecameca

Para este subsistema, la recarga se genera de sur a norte y de Tláhuac a Temamatla. De acuerdo con los datos registrados se tienen valores de abatimientos máximos de -25 m, mientras que en el centro los valores son del orden de -5 m. El tipo

⁹ Gerencia Regional de Agua en el Valle de México. "Diagnóstico de la región XIII, Valle de México, informe final. Tomo 1. 1997.

CAPÍTULO 6

de este acuífero es semiconfinado, tiene un área de recarga de 1400 km², con extracción mayor a la recarga de 111.88 millones de m³/año (3.55 m³/s) contra 88 millones de m³/año (2.79 m³/s). Existen 207 aprovechamientos para diversos usos.

6.1.3. Zona Cuautitlán - Tizayuca - Pachuca

La recarga proviene de oeste a este, con centros de abatimientos en el área de Barrientos, Tultitlán y San Andrés Jaltenco. También recibe recarga, en menor proporción, de la laguna de Zumpango. Para Ecatepec y Coacalco su recarga llega de las inmediaciones del Cerro del Tlayote y Chiconautla. La recarga del acuífero por Pachuca se genera al noroeste en la Sierra de Tezontlalpan con abatimientos en áreas localizadas al sur de Pachuca. Existe una variación de niveles entre -35 m y -45 m; cerca de Zumpango los abatimientos son de -20 m. Cuenta con 1027 pozos.

6.1.4. Zona Texcoco

La recarga proviene de la Sierra Nevada con trayectoria este - oeste y del lago de Texcoco. Los niveles más elevados dentro del subsistema se encuentran en áreas cercanas a San Vicente Chicoloapan. Los abatimientos de las curvas de nivel de igual elevación estática son de -30 m; tanto en Texcoco como en San Vicente Chicoloapan. El área de recarga del acuífero es de 1200 km², es un acuífero semiconfinado, sobreexplotado y con 638 aprovechamientos.

6.1.5. Zona Apan

La recarga proviene de las infiltraciones de las Sierras Calpulalpan, Tepozotlán y Chichicuahtla. Para la zona de Ciudad Sahagún, la dirección de la recarga es sureste - noreste, asimismo, en el área de Otumba - Teotihuacán sigue una trayectoria de este a oeste. Se presentan abatimientos bajos, del orden de -3 y -1 m en ciudad

CAPÍTULO 6

Sahagún y al suroeste de Apan; en tanto que en las lagunas Animas y Tochac se registraron niveles positivos. Es un acuífero semiconfinado, sobreexplotado, con 115 aprovechamientos.

6.1.6. Zona del Lago de Tecocomulco

Su recarga es en dirección noreste - sureste, proviene de la Sierra de Tepozan hacia Tepeapulco. En éste acuífero, los valores reportados por las curvas de igual elevación del nivel estático indican abatimientos de bajos a nulos. Es un acuífero semiconfinado, subexplotado, la recarga es más alta que la extracción provocada por 19 aprovechamientos, 14 millones de m³/año (0.44 m³/s) contra 6.59 millones de m³/año (0.21 m³/s).

En las tablas 22 a la 24, se muestra un pequeño resumen de todo lo que se mencionó anteriormente, junto con el uso que se les da a las aguas subterráneas del Valle de México.

Tabla 22.- Acuíferos dentro de la región XIII del Valle de México.

ACUÍFERO	CONDICIÓN		TIPO	VOLUMEN EXTRAÍDO m ³ /s	VOLUMEN DE RECARGA m ³ /s
	GEOHIDROLÓGICA	ADMINISTRATIVA			
CHALCO	SOBREEXPLORADO	RÍGIDA	SEMICONFINADO	3.548	2.790
ZONA METROPOLITANA	SOBREEXPLORADO	RÍGIDA	SEMICONFINADO	28.229	7.103
TEXCOCO	SOBREEXPLORADO	RÍGIDA	SEMICONFINADO	2.326	1.582
CUATITLÁN-TIZAYUCA-FACHUCA	SOBREEXPLORADO	RÍGIDA	SEMICONFINADO	14.813	11.100
TECOCOMULCO	SUBEXPLORADO	INTERMEDIA	SEMICONFINADO	0.209	0.444
APAN	SUBEXPLORADO	INTERMEDIA	SEMICONFINADO	1.105	3.171

Fuente: Comisión Nacional del Agua. Gerencia de aguas subterráneas, 1997.

CAPÍTULO 6

Tabla 23.- Número de aprovechamientos por acuífero en el Valle de México.

ACUÍFERO	AREA km ²	NÚMERO APROV.	DISTRIBUCIÓN DE POZOS POR USO			
			AGRÍCOLA	PÚBLICO	DOMÉSTICO	INDUSTRIAL
CHALCO	1400	207	80	83	8	36
ZONA METROPOLITANA	1825	1626	35	720	24	847
TEXCOCO	1200	638	354	105	29	150
CUATI-TIZAYU-PACHU	1600	1027	455	395	96	81
TECOCOMULCO	-	19	1	6	0	0
APAN	-	115	56	55	3	7
TOTAL	6025	3632	981	1364	160	1121

Fuente: Comisión Nacional del Agua. Gerencia de aguas subterráneas, 1997.

Tabla 24.- Uso del agua subterránea en el Valle de México.

ACUÍFERO	VOLUMEN DE AGUA m ³ /s	USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA m ³ /s			
		AGRÍCOLA	PÚBLICO	DOMÉSTICO	INDUSTRIAL
CHALCO	3.548	0.529	2.848	0.0	0.168
ZONA METROPOLITANA	28.229	0.092	26.027	0.063	2.048
TEXCOCO	2.326	1.389	0.783	0.022	0.133
CUATI-TIZAYU-PACHU	14.813	1.636	12.522	0.130	0.523
TECOCOMULCO	0.209	0.155	0.013	0.016	0.025
APAN	1.105	0.155	0.901	0.0	0.051
TOTAL	50.231	3.961	43.090	0.230	2.949

Fuente: Comisión Nacional del Agua. Gerencia de aguas subterráneas, 1997.

6.2. Calidad del agua

Las formaciones geohidrológicas del Valle de México presentan facilidad para mejorar la calidad del agua, es decir, no se necesita un proceso complejo de tratamiento para mejorarla. La mayor parte del agua subterránea, se extrae entre profundidades de 50 a 200 m en promedio, con algunas excepciones donde la extracción es a mayor profundidad. El agua se encuentra en general con calidad

CAPÍTULO 6

aceptable, sin embargo, existen algunas zonas donde se ha sobrepasado las normas establecidas, por la Secretaría de Salud.

A partir del estudio del agua subterránea, realizado por la Gerencia Técnica de GRAVAMEX en 1996, se realizó un análisis de la calidad del recurso en los acuíferos de la cuenca del Valle. Este se apoyó en información hasta el año de 1995.

De los planos de curvas de igual contenido de sulfatos, se pudo apreciar que, en la delegación Tláhuac, se encontraron concentraciones del 100% por encima de lo que establece la norma. En el resto de la cuenca no se sobrepasa la norma, encontrándose las concentraciones mayores en la zona metropolitana con valores de 350 mg/L. Se puede indicar que los acuíferos del Valle, no contienen concentraciones altas de sulfatos, excepto en Tláhuac.

Para el caso de los Cloruros, se encontró que en la parte de Chiconautla las concentraciones superan 20% el límite permitido; en la parte de San Cristóbal Ecatepec se sobrepasa hasta un 650%; en la zona comprendida entre el lago de Texcoco y la Cd. de México, las concentraciones son 250% superiores; en la Delegación Iztapalapa alcanzan hasta un 40% y se encontraron concentraciones por arriba del 20% del límite establecido.

Para el caso de la Dureza Total, en Tultitlán existen concentraciones de 100% superiores al límite permitido; en Atizapan de Zaragoza son mayores en un 66 %; en Ecatepec existen mediciones del 166 % arriba del límite; en la Delegación Venustiano Carranza de más del 233% sobre la norma; en la Delegación de Tláhuac existen concentraciones del orden del 133% por encima del límite; y en la región de Chalco existen valores de 66% sobre la norma.

CAPÍTULO 6

En Residuo Seco, en Ecatepec existen concentraciones del 300% superiores al límite permitido, en Texcoco del 30% por arriba, en la Delegación Gustavo A. Madero del 20% más, en San Cristóbal Ecatepec existen concentraciones del 100% superiores al límite establecido, en la Delegación Tláhuac se exceden en 250%, mientras que en la Delegación de Iztapalapa y la zona de Chalco son iguales al límite permitido.

Para el caso del Amonio (como NH_3 o N), se aprecian en la zona de Sto. Tomás Chiconautla concentraciones de 8 mg/L; en la zona de Coacalco alcanza valores de 12 mg/L; en Tultitlán se tienen registros de 30 mg/L; en la Delegación Cuauhtémoc existen concentraciones de 30 mg/L, mientras que en la Gustavo A. Madero son de 40 mg/L; en Netzahualcoyotl de 4 mg/L; en Iztacalco de 20mg/L; de 70 mg/L son los datos de Chalco; de 30mg/L en la de Tláhuac y en Ecatepec existen concentraciones de 3 mg/L.

Con respecto a los Bicarbonatos, se encontró que en Tizayuca se tienen valores del 100 % por encima del límite permitido; en Tultitlán son del 40% más altos; en Atizapán de Zaragoza de 20%; en Ecatepec de Morelos se encontraron registros del 80%; en la zona de Texcoco existen concentraciones del 40%; los valores son superiores en 180% en la Venustiano Carranza y en un 60 % en la de Iztapalapa; en Santa Cruz Meyehualco y en Chalco, existen concentraciones de más de 40% por arriba de la norma.

De los Nitratos se puede apreciar que en ningún punto de la cuenca excede a lo establecido por la norma. Referente al Boro, sólo la Delegación Venustiano Carranza se exceden en un 150%. En la tabla 25, se muestra un resumen de la calidad de las aguas.

CAPÍTULO 6

Tabla 25.- Calidad del agua de los pozos del Valle de México

ZONA	MUNICIPIO O DELEGACION	CLAVE DEL POZO	CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA							
			NORMAS ESTABLECIDAS POR LA SECRETARIA DE SALUD							
			SO4	CL	NO3	DUR. TOT	RES. SECC	NH4	BORO	HCO3
1	CHALCO	196	2.1	21.1	0.093	145.1	238	*0,68	0.234	191.3
1	CHALCO	1541	310.6	162.1	1.397	*577	*1114	*76	0.234	*590,4
1	TLAHUAC	2155	4	55.7	2.062	108.2	320	*1,55	0.078	229.1
1	IZTAPALAPA	2241	347.3	156.7	0	*446	*1530	0.09	0.218	814.9
		2600	122.5	76	0.732	*319,2	654	0	0.779	207.8
1	TECAMAC	5208	36.5	40.6	3.591	*300,9	496	0	0	466.3
		5281	2.7	86.7	0.053	141.6	396	*4,8	0.234	255.1
1	NEZAHUALCOYOTL	5288	101.2	64.5	0	161.6	586	*1,5	0.202	274
1	IZTAPALAPA	5678	39.4	228.5	0	*339,8	858	0.45	0.078	*536,1
1	IZTAPALAPA	5821	9.2	*326,9	0	531	*1034	*3,61	*1,402	*687,2
		6372	2.7	*335,4	0	*646,5	*1452	*24	*3,115	*935,2
1	ALVARO OBREGON	6408	3.6	*455,9	0.865	24.2	634	0.03	0.047	23.6
		6500	36	*990,9	0	*1150,4	*2408	*1,2	*2,881	*1477,4
1	VENUSTIANO CARRANZA	6501	0	*321,2	0	*442,5	*1090	*2	*1,947	*729,4
1	CHIMALHUACAN	G-107	17.7	51.6	0	88.9	308	*1,8	0.078	149.8
1	GUSTAVO A. MADERO	6515	0	22.8	0	88.5	256	*45	0.623	307
1	CUAHUTEMOC	6945	0	90	0.332	141.6	550	*30	0	406.3
1	ECATEPEC	7135	1.5	*445,3	5.652	*538,1	*1448	0	*2,258	*902,6
1	ECATEPEC	7161	9.2	*326,9	0	*531	*1034	*3,6	*1,402	*983,4
1	ECATEPEC	8021	75	71.5	1.862	*315,2	232	0	0.156	368.4
1	ECATEPEC	8138	21.4	*390,7	1064	*499,1	*1114	0	*1,713	*584
1	ECATEPEC	45-B	28.7	77.8	9.31	*339,8	616	0	0.156	427
1	TLAHUAC	83-B	*1260	*375,9	0.599	*955,8	*3580	*33	0.934	219.3
1	XOCHIMILCO	B-541	4.6	84.3	0	131	444	*30	0.779	346.3
1	XOCHIMILCO	B-662	8.5	28.5	1.862	77.9	212	*3,6	0	115.4
1	MIGUEL HIDALGO	BB-95	23.9	30.8	5.652	169.9	406	*33	0.156	50.8
1	ATIZAPAN DE ZARAGOZA	BH-36	102.5	104.8	11.31	*531	*1026	0	*1246	*671,7
1	TULTITLAN	B1-83	214.3	132.3	1795	*623	*1376	*1,2	0.234	434
1	TULTITLAN	BQ-46	92.4	177.6	0	166.4	*1040	*30	*1,324	*722,5
1	COACALCO	BS-05	116.7	157.9	0	*601,8	*1034	0.1	0.078	*798,7
1	CUAUTITLAN	BT-63	172.7	87.2	4.655	*476,8	774	0	0.265	408.6
		BU-37	362	*1973,3	0	*849,6	*4426	0	*2,18	*1179,6
1	ECATEPEC	BX-50	34.1	*998,3	2.195	*885	*1994	0.15	0.467	427
1	ECATEPEC	BY-33	19	273.4	0	*371,7	806	0	*1012	450.1
1	GUSTAVO A. MADERO	C-411	110.5	187.5	12.97	*610,1	*1352	0.6	0.234	*623,5
		DV-62	145	373.8	0	81.4	*2194	*9	0.156	*1084,9
1	TEXCOCO	EN-83	101.8	25.5	4.323	*304,4	594	0	0	290.9
1	TEXCOCO	EO-98	129.5	248.4	4.655	*541,6	*1326	0.03	0.156	704.1
1	SAN VICENTE CHICOLAO	F-242	362	193.4	0.045	*848,5	*2014	0.6	0.311	*1329,6
1	MIGUEL HIDALGO	FB-82	9.6	21.6	9.31	127.4	*1450	0	0	198.5
II	TIZAYUCA	5058	38.4	48.8	2.594	269	624	0	0	*512,5
II	VILLA TEZONTEPEC	59-B	44.5	51.1	2.793	283.2	690	0.03	0.078	*535,5

* HA SOBREPASADO EL LIMITE ESTABLECIDO POR LA SECRETARIA DE SALUD (S.S.A.)

FUENTE COMISION NACIONAL DEL AGUA (C.N.A.) GERENCIA TECNICA 1996

CAPÍTULO 6

Las investigaciones realizadas en los acuíferos del Valle de México, han confirmado que la irrigación es responsable del incremento en las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas. Al parecer, la actividad agrícola de la región está causando no sólo este aumento sino también el de plaguicidas en los acuíferos, originando zonas con agua de mala calidad que rebasan las normas establecidas. Todo por los grandes volúmenes de fertilizantes nitrogenados aplicados en los campos agrícolas.

6.3. Plantas de tratamiento municipales y de sistemas autónomos.

En el Valle de México existen 41 plantas de tratamiento municipal y 25 correspondientes a sistemas autónomos. En la tabla 26, se registran datos como el Estado, Municipio y la localidad donde esas plantas están ubicadas, el tipo de tratamiento con que cuentan, el número de habitantes a los que benefician, su capacidad instalada expresada en términos del gasto medio que es posible tratar, el gasto medio que actualmente procesan, la eficiencia con que están funcionando y la instancia que las opera.

El agua es extraída de los acuíferos por medio de Ramales. Estos, junto con el caudal promedio que pueden manejar, se muestran en la tabla 27 y su localización en la figura 14.

Tabla 26a.- Plantas de tratamiento municipales.

SUBREGIÓN	ZONA	UNIDAD FEDERATIVA	DELEGACIÓN O MUNICIPIO	LOCALIDAD	PROCESO DE TRATAMIENTO	POBLACIÓN BENEFICIADA HAB	GASTO PROYECTO U\$	GASTO OPERACION U\$	EFICIENCIA %	ORGANISMO OPERADOR	
VALLE DE MÉXICO	I ZMCM	D STRITO FEDERAL	AZCAPOTZALCO	ROSARIO	LODOS ACTIVADOS SECUNDARIO		22	9	90	D D F	
			GUSTAVO A MADERO	ACUEDUCTO DE GUADALUPE	LODOS ACTIVADOS SECUNDARIO		80	42	75	D D F	
				SAN JUAN DE ARAGON	LODOS ACTIVADOS SECUNDARIO		560	135	92	D D F	
			MIGUEL HIDALGO	CHAPULTEPEC	LODOS ACTIVADOS SECUNDARIO		160	103	92	D D F	
			CUAHUTEMOC	BOSQUES DE LAS LOMAS TLALTELOLCO	AERACION EXTENDIDA		55	24	91	D D F	
					LODOS ACTIVADOS SECUNDARIO		20	12	91	D D F	
			IZTAPALAPA	CERRO DE LA ESTRELLA	LODOS ACTIVADOS FILTRACION		3,000,000	1,034,000	92	D D F	
			IZTACALCO	CIUDAD DEPORTIVA	LODOS ACTIVADOS SECUNDARIO		230	122	92	D D F	
				IZTACALCO	LODOS ACTIVADOS TERCARIO		15	8	91	D D F	
			COYOACAN	COYOACAN	LODOS ACTIVADOS SECUNDARIO		1,250.00	285	92	D D F	
			XOCHIMILCO	SAN LUIS TLAXIALTEMALCO	LODOS ACTIVADOS FILTRACION		255	48	100	D D F	
				RECLUSORIO SUR	LODOS ACTIVADOS FILTRACION		28	15	92	D D F	
			TLALPAN	ABASOLO	LODOS ACTIVADOS FILTRACION		SD	15		D D F	
	PARRES	LODOS ACTIVADOS FILTRACION			SD	7		D D F			
	XICALCO	LODOS ACTIVADOS FILTRACION			SD	8		D D F			
	TLAHUAC	SAN JUAN IXTAYOPAN	LODOS ACTIVADOS FILTRACION		SD	15		D D F			
		TETELCO	LODOS ACTIVADOS FILTRACION		SD	15		D D F			
	MÉXICO			AYAPANGO	AYAPANGO	LAGUNA DE OXIDO	2.6	5	3	80	MUNICIPIO
				CHALCO	CENTRO DE DESARROLLO COMUNITARIO JUAN DIEGO TIAP	LODOS ACTIVADOS	861	1.6	1.6	100	CENTRO DE D/S COAL
				CHIMALHUACAN	LAGO DE TEXCOCO TEXCOCO	LODOS ACTIVADOS		1,000,000	1,000,000	100	C N A
			LAGO DE TEXCOCO ING RAMON GRILLALVA RUIZ		LAGUNAS FACULTATIVAS		600	600	100	C N A	
			LAGO DE TEXCOCO MODULO PILCOT		TEROTARIO		60	60	100	C N A	
			IXTAPALUCA	TLALTIZAHUAC	LODOS ACTIVADOS	10	18.5	18.5	100	MUNICIPIO	
			NAUCALPAN	PINTORES	LODOS ACTIVADOS	2.46	5	5	100	MPIO.	
		NAUCALLI		LODOS ACTIVADOS	12.96	40	30	75	C E A S		
			PARQUE LOS REMEDIOS	TANQUE SEPTICO BIOENZIMATICO	758	1.75	1.75	100	MPIO		

Tabla 26b.- Plantas de tratamiento municipales.

SUBREGION	ZONA	UNIDAD FEDERATIVA	DELEGACIÓN O MUNICIPIO	LOCALIDAD	PROCESO DE TRATAMIENTO	POBLACIÓN BENEFICIADA HAB	GASTO PROYECTO U/\$	GASTO OPERACIÓN U/\$	EFICIENCIA %	ORGANISMO OPERADOR	
VALLE DE MÉXICO	I	MÉXICO	TLALNEPANTLA	SAN JUAN OXHUATEPEC	LODOS ACTIVADOS		150	30	20	IP	
			TULTITLAN	SAN PABLO DE LAS SALINAS	LODOS ACTIVADOS	30 24	200	70	35	MUNICIPIO	
				LECHERIA	LODOS ACTIVADOS		400	128	32	CIA MEX	
	TOTAL			28		59 68	7 985	3 93			
	II AVENIDAS DE PACHUCA	HIDALGO	MINERAL DEL MONTE	MINERAL DEL MONTE	LAGUNAS PANTANO		17 36	11 48	36		
			TIZAYUCA	TIZAYUCA	LODOS ACTIVADOS		120	0	0	NO OPERA	
			VILLA HIDALGO	LAGUNA DE ESTABILIZACION		8 3	0	0	NO OPERA		
	TOTAL			3		143 86	14 48				
	III APAN	HIDALGO	TEPEAPULCO	CIUDAD SAHAGUN	TANQUE IMHOFF		3	0	0	NO OPERA	
		TLAXCALA	CALPULALPAN	COL ESPEJEL	LAGUNA DE ESTABILIZACION		12	0	0	NO OPERA	
LA CAÑADA				LAGUNA DE ESTABILIZACION		16	28 88	71			
LAZARO CARDENAS		BENITO JUAREZ	FRANCISCO VILLA	LAGUNA DE ESTABILIZACION		8	3 9	45			
			SANCTORUM	LAGUNA DE ESTABILIZACION		3	1 85	46			
				LAGUNA DE ESTABILIZACION		5	0	0	NO OPERA		
MARIANO ARISTA	DOMINGO ARINAS	NANACAMILPA	LAGUNA DE ESTABILIZACION		1	1	100				
			LAGUNA DE ESTABILIZACION		19	0	0	NO OPERA			
TOTAL			8			87	33 92				
TOTAL				40		8 215 710	3 078 250				
TULA	A	MÉXICO	SAN BARTOLO MORELOS	SAN BARTOLO MORELOS	LAGUNA DE ESTABILIZACION		10	1 9	19		
	TOTAL					1	10	1 9			
TOTAL				1		10	1 9				
TOTAL REGIÓN XIII				41		59 58	8 225 710	3 980 150			

Fuente: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. Inventario de plantas en el Estado de México, 1996
CNA, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua

Tabla 26c.- Plantas de tratamiento municipales.

SUBREGION	ZONA	UNIDAD FEDERATIVA	DELEGACION O MUNICIPIO	LOCALIDAD	PROCESO DE TRATAMIENTO	POBLACION BENEFICIADA HAB.	GASTO PROYECTO /s	GASTO OPERACION /s	EFICIENCIA %	ORGANISMO OPERADOR	
VALLE DE MÉXICO	I ZMCM	DISTRITO FEDERAL	COYOACAN	CIUDAD UNIVERSITARIA	LODOS ACTIVADOS SECUNDARIOS		SD	60		UNAM	
			TLALPAN	H. COLEGIO MILITAR	LODOS ACTIVADOS FILTRACION		18	13	100	SEDENA	
				PEMEX	LODOS ACTIVADOS SECUNDARIOS		SD	25		PEMEX	
	MÉXICO	AMECAMECA	ALVARO ORTIZ VIZAIRO GRANJA PORCINA		SEDIMENTADOR		0.023	0.023	100	IP	
			ATIZAPAN DE ZARAGOZA	CLUB DE GOLF CHILUCA I	SECUNDARIO CON DESINF. DE CLORO	4.32	10	10	100	IP	
				CLUB DE GOLF CHILUCA II	SECUNDARIO CON DESINF. DE CLORO	6.912	16	16	100	IP	
				CLUB DE GOLF CHILUCA III	SECUNDARIO CON DESINF. DE CLORO	1.728	4	1	100	IP	
				CLUB DE GOLF VALLE ESCONDIDO	SECUNDARIO CON DESINF. GAS OZONO	7.776	18	18	100	IP	
				CLUB DE GOLF HACIENDA	FLOCULACION Y FILTRACION DESINF. GAS OZONO	10.8	25	20	80	IP	
	CLUB DE GOLF BELLA VISTA	BIODISCOS CON DESINF. GAS CLORO		8.61	20	20	100	IP			
				HUIXQUILUCA	VILLA ALPINA	REACT. ANAEROBIO	2.88	6	0	0	MPIO 2
				NAUCALPAN	CAMPO MILITAR No 1	LODOS ACTIVADOS FILTRACION DESINF. CON CLORO	11.78	30	30	100	SEDENA
		CONJUNTO HABITACIONAL "LOMAS CONIRERAS"	TANQUES SEPTICOS BIOENZIMATICOS		1.8	3	3	100	FRACC		
		CONJUNTO HABITACIONAL "LA JOYA"	TANQUES SEPTICOS BIOENZIMATICOS		7.44	2	0.5	25	FRACC		
		CONJUNTO HABITACIONAL "COLINAS DEL FAISAN"	TANQUES SEPTICOS		1.56	0.4	0.3	75	FRACC		
		CONJUNTO HABITACIONAL "LA CUSPIDE"	LODOS ACTIVADOS		1.872	4	1.6	40	FRACC		
		CONJUNTO HABITACIONAL "LA ROSA"	TANQUES SEPTICOS BIOENZIMATICOS		1.26	2	1.5	75	FRACC		

Fuente: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. Inventario de plantas en el Estado de México, 1996
CNA, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua

Tabla 26d.- Plantas de tratamiento municipales.

SUBREGION	ZONA	UNIDAD FEDERATIVA	DELEGACIÓN O MUNICIPIO	LOCALIDAD	PROCESO DE TRATAMIENTO	POBLACIÓN BENEFICIADA HAB.	GASTO PROYECTO U/g	GASTO OPERACION U/s	EFICIENCIA %	ORGANISMO OPERADOR
VALLE DE MÉXICO	I ZMCM	MÉXICO	NAUCALPAN	CONJUNTO HORIZONTAL "EL RETIRO"	TANQUES SEPTICOS BIOENZIMATICOS	60	0.2	0.12	60	FRACC
				CONJUNTO HABITACIONAL "SEDENA" COL. SANTIAGO OCCIPACO	TANQUES SEPTICOS BIOENZIMATICOS	960	1.75	1.75	100	SEDENA
				CONJUNTO HABITACIONAL "SEDENA" COL. SANTA CRUZ ACATLAN	RÉACTOR ANAEROBIO	1.8	2	2	100	SEDENA
			NEZAHUALCOYOTL	NEZAHUALCOYOTL "JORGE AYANEGUI"	LODOS ACTIVADOS	30.24	200	70	35	MUNICIPIO
			TEPOTZOTLAN	U.HAB.AUTOSUFICIENTE BACARDI	LODOS ACTIVADOS	2.4	5	5,000	100	MUNICIPIO
			TEXCOCO	UNIDAD HABITACIONAL "LAS VEGAS"	TANQUE IMHOFF	10.5	18.3	18.3	100	MUNICIPIO
				TEXCOCO (CIRF SO)	LODOS ACTIVADOS	1	6	6	100	MUNICIPIO
			TULTITLAN	VILLAS DE SAN JOSE	FILTROS ROCIADORES	27.44	60	60	100	MUNICIPIO
TOTAL			25		135.068	439.673	375.093			
TOTAL REGION XIII				25		135.068	439.673	375.093		

Fuente: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. Inventario de plantas en el Estado de México, 1996
CNA, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua

Tabla 27. - Ramales.

NOMBRE DEL RAMAL	CAUDAL m ³ /S	ACUÍFERO
TEOLOYUCAN	1.8	CUATITLAN - TIZAYUCA - PACHUCA
LOS REYES - FERROCARRIL	2.8	CUATITLAN - TIZAYUCA - PACHUCA
TIZAYUCA - PACHUCA	1.8	CUATITLAN - TIZAYUCA - PACHUCA
LOS REYES - ECATEPEC	1.8	CUATITLAN - TIZAYUCA - PACHUCA
TLAHUAC - NETZAHUALCOYOTL	1.4	ZONA METROPOLITANA
MIXQUIC - STA CATARINA	1.3	CHALCO
TEXCOCO	1.0	TEXCOCO
TULYEHUALCO	0.82	ZONA METROPOLITANA
XOCHIMILCO	0.074	ZONA METROPOLITANA
ZAPATA	0.115	ZONA METROPOLITANA
ATLAMICA	0.3	CUATITLAN - TIZAYUCA - PACHUCA
AISLADOS	0.3	ZONA METROPOLITANA
TOTAL	13.509	-

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1998.

6.4. Costos.

En la tabla 28, se muestran las potencias requeridas para extraer el agua de los acuíferos, junto con el caudal promedio al año, que se les puede extraer.

De la tabla 28, se puede ver que la potencia total promedio de bombeo es de 6184 kW. Para encontrar los costos de bombeo, se tomaron los valores reales de los KWH demandados en 1998, los cuales se pueden ver en la tabla 29, junto con las tarifas y caudales programados.

CAPÍTULO 6

Tabla 28.- Características de los acuíferos

ACUÍFERO	CALIDAD DEL AGUA STD	VOLUMEN DE EXTRACCIÓN m ³ /s	PROF. MEDIA AL NIVEL EST. m	POTENCIA REQUERIDA HP	POTENCIA REQUERIDA KW
CHALCO	150.00	3.548	47.5	1250.0	932.5
ZONA METROPOLITANA	50.00	28.229	52.5	1381.6	1030.7
TEXCOCO	150.00	2.326	47.5	1250.0	932.5
CUATI-TIZAYU-PACHU	150.00	14.813	75.0	1973.7	1472.4
TECOMULCO	300.00	0.209	15.0	394.7	294.5
APAN	160.00	1.105	77.5	2039.5	1521.4
TOTAL	960	50.230	315	8289.5	6184

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1998.

Tabla 29.- Costos de 1998 para los Sistemas Subterráneos.

MES	DIAS	M3/S PROM	M3/MES	TARIFA 6	KWH	\$
ENERO	31	7.49	20061216	PROMEDIO	19354979	
FEBRERO	28	7.91	19135872		20179709	
MARZO	31	8.09	21868256		17707625	
ABRIL	30	8.44	21876480		20547621	
MAYO	31	8.48	22712832		21382583	
JUNIO	30	8.46	21928320		19834503	
JULIO	31	8.10	21695040		20382418	
AGOSTO	31	8.10	21695040		20382418	
SEPTIEMBRE	30	8.00	20736000		19724920	
OCTUBRE	31	7.90	21159360		20382418	
NOVIEMBRE	30	7.90	20476800		19724920	
DICIEMBRE	31	8.00	21427200		20382418	
TOTAL	365	8.07	254572416	0.52483	239986532	125952131.6

Como se puede ver, la potencia anual requerida es de 239,986,532 KWH, mismos que corresponden a 125,952,131.6 pesos. El costo por cada metro cúbico de agua bombeada es por tanto

$$(125,952,131.6 \text{ pesos}) / (254,572,416 \text{ m}^3) = 0.495 \text{ pesos/m}^3$$

La Comisión Nacional del Agua, sólo añade cloro para su potabilización, por lo que su costo aplicando el índice del capítulo 1 es

CAPÍTULO 6

$$\left(20,476,800 \text{ m}^3\right)\left(0.053 \text{ pesos/m}^3\right)=1,085,270.4 \text{ pesos}$$

El costo de suministrar agua potable a la ZMVM es de 0.548 \$/m³, donde el 90.32 % corresponde a la extracción y el 9.68 % restante a la potabilización.

CAPÍTULO 7

FUENTES FUTURAS.

Se habla de los proyectos que la Comisión Nacional del Agua tiene considerados para abastecer en un futuro de agua al Valle de México. Se da una breve descripción de ellos y se mencionan los costos de la facturación energética por bombeo y del tratamiento del agua de dichos sistemas.

7.1. Descripción de los proyectos.

En la década pasada, se hizo evidente que los hundimientos diferenciales de la Ciudad de México eran causados por la sobreexplotación de los acuíferos. A partir de entonces se procuró buscar fuentes alternas de abastecimiento, preferentemente externas al Valle de México, tomando en cuenta que las posibilidades de aprovechamiento de agua superficial y subterráneo dentro del mismo son muy reducidas.

El flujo establecido por la sobreexplotación hacia las zonas más deprimidas tiende a provocar la inundación de la actual mancha urbana, que tiene una reducida capacidad de infiltración, razón por la cual, se ha caído en la situación paradójica de tener que drenar el agua (negra) para evitar inundaciones en la ZMVM y por otra parte, tener que importar agua (limpia) desde otras cuencas para abastecer a su población.

El Departamento del Distrito Federal y cronológicamente las extintas Comisiones Hidrológica y de Aguas del Valle de México consideraron dentro de los

CAPÍTULO 7

estudios para la planeación del abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México y su área Metropolitana la posibilidad de captar agua de escurrimientos externos al Valle, incluyendo algunos ubicados a poca altura sobre el nivel del mar, como es el caso de la cuenca del río Papaloapan o la del bajo Tecolutla.¹⁰

Del universo de proyectos analizados a nivel de gran visión, la Comisión de Aguas del Valle de México, mediante estudios más profundos, fueron seleccionados los que tenían mayor viabilidad técnica, económica y social, conformando una planeación integral para el suministro hasta el año 2010, mediante el aprovechamiento de aguas de la cuenca de Libres - Oriental en el Estado de Puebla y la captación de aguas superficiales de los ríos Cutzamala, Temascaltepec y Amacuzac, en los Estados de México, Michoacán y Guerrero, así como el río Tula en Hidalgo y el Alto Tecolutla en Puebla. El proceso de planeación de los proyectos tomó en cuenta los respectivos montos de inversión y operación, así como las afectaciones potenciales del sector eléctrico dado que no se afectan otros sectores. Los proyectos seleccionados ofrecen suficiente disponibilidad del recurso para satisfacer tanto los usos locales de agua potable y riego, como los de transferencia al Valle de México.

7.2. Proyecto del Alto Río Tecolutla.

En la primera etapa, se utilizaría parte de la infraestructura del sistema hidroeléctrico Necaxa para el aprovechamiento de 9.8 m³/s; para ello se contempló construir una nueva obra de toma de la presa Necaxa y mediante tres plantas de bombeo en cascada, elevar el agua 985 m a través de un acueducto de 24.5 km integrado por 2.5 km de tubería de acero en los tramos de alta presión, 7 km de concreto presforzado de 2.5 m de diámetro y 15 km de canal revestido de concreto.

¹⁰ Comisión Nacional del Agua. "Factibilidad del proyecto integral para el abastecimiento de agua potable a la zona metropolitana del Valle de México". 1997.

CAPÍTULO 7

Los caudales se conducirían hasta la actual presa de La Laguna, previamente sobreelevada, para su regulación conjunta con las aportaciones de varias tomas del actual sistema y la posterior entrega de los caudales totales a la planta potabilizadora, localizada al oriente del poblado de Tecocomulco, requiriendo un bombeo adicional para vencer una carga de 585 m con un acueducto de 32.9 km. La planta potabilizadora sería semejante a la del Sistema Cutzamala, con tres módulos de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ cada uno.

De la potabilizadora, los caudales se conducirían por gravedad mediante una tubería de concreto preesforzado de 2.5 m de diámetro y 81.5 km de longitud, hasta un tanque de recepción y distribución al noreste de la ZMVM en el cerro de Chiconautla, la cual conectaría con el Macrocircuito, en el Tanque de Cerro Gordo, en el municipio de Ecatepec.

La segunda etapa requerirá la construcción de 3 presas derivadoras, 2 túneles de 1 y 10 km, una presa de almacenamiento y 3 plantas de bombeo para elevar un gasto medio de $4.8 \text{ m}^3/\text{s}$, hasta la planta potabilizadora, conectándose al acueducto de la primera etapa del sistema. Pero como la Ciudad de Puebla contempló derivar del orden de $3 \text{ m}^3/\text{s}$ del río Apulco (parte integrante de la segunda etapa del Río Tecolutla), se determinó descartar esta parte del proyecto.

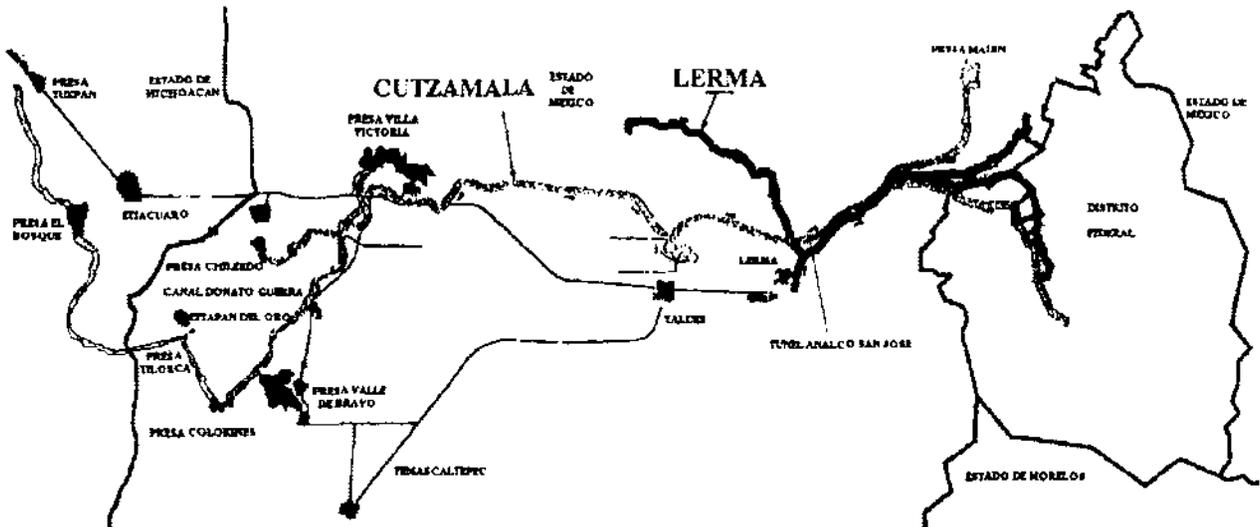
7.3. Proyecto del Alto Río Amacuzac

La cuenca del Amacuzac, ha sido considerada como posible fuente de abastecimiento para la Ciudad de México desde los primeros estudios de planeación. Dada su cercanía al Valle de México y los importantes escurrimientos generados a

CAPÍTULO 7

considerable altura sobre el nivel del mar, se ha propuesto repetidamente como un proyecto de alta viabilidad.

Figura 16.- Proyectos.



Sin embargo, por los anteproyectos de obras de captación y aprovechamiento se ha tenido que desechar como resultado de los estudios geológicos y de mecánica de suelos del lecho de los vasos, teniendo que sustituirse por alternativas que contemplan obras de aprovechamiento de más bajo rendimiento, lo que representa un encarecimiento progresivo, tanto por inversión en obra como por operación. Por lo anterior este proyecto ha perdido su atractivo.

Los recursos hidráulicos de la cuenca del Amacuzac, en su parte más alta, están formados por los escurrimientos del sur de la sierra del Ajusco, en el Distrito Federal y en los Estados de México y Morelos, así como por las escorrentías del Volcán de Toluca, en su lado suroeste, formando diversos arroyos en la región de Chalma e Ixtapan de la Sal, hasta converger al cauce del río Chontalcuatlán, que recorre la

CAPÍTULO 7

parte sur del Estado de México en sus límites con el Estado de Guerrero, precisamente antes del sumidero que después da lugar a las grutas de Cacahuamilpa.

Después de haber estudiado y desechado, por no ser viables técnica y económicamente, más de diez esquemas de aprovechamiento, implicando la localización tentativa de 33 probables sitios de captación, se ha seleccionado el proyecto que consiste en derivar los escurrimientos altos del arroyo San Gaspar, mediante la presa Totomajac.

El proyecto consiste en transferir $13.52 \text{ m}^3/\text{s}$ de la cuenca hacia la ZMVM, mediante la derivación de los escurrimientos antes mencionados. Las aportaciones de esta presa, se incorporarían al acueducto que conduce los volúmenes regularizados en la presa Chontalcutlán, localizada en la parte baja de la cuenca, donde recibe las aguas del río San Jerónimo, derivadas de la presa del mismo nombre.

El diseño propuesto de la presa Chontalcután, contempla materiales graduados con cortina de 172 m de altura, desde el lecho del río, con capacidad de almacenamiento de 542 millones de metros cúbicos ($17.19 \text{ m}^3/\text{s}$). Este almacenamiento constituye la base principal del aprovechamiento para regularizar los escurrimientos de la propia cuenca que en promedio anual son de $10.58 \text{ m}^3/\text{s}$, incluyendo derivaciones del río San Jerónimo con $1.42 \text{ m}^3/\text{s}$ captados en la presa del mismo nombre y derivados hasta la presa Chontalcutlán, por acueductos de 600 m de tuberías, 5.8 km de canales y un túnel de 1400 m, integrando finalmente un gasto medio aprovechable de $12 \text{ m}^3/\text{s}$, mismos que se incrementarán con los 1.52 que se incorporarán provenientes de la derivadora de Totolmajac, haciendo un total de $13.52 \text{ m}^3/\text{s}$.

CAPÍTULO 7

De esta presa inicia la conducción mediante dos líneas de tuberías de acero y de concreto presforzado de 2 m de diámetro, siete plantas de bombeo: Chontalcuatlán de 356 m de carga; Cuitlapa con 171 m; El Zapote con 81 m; Tlacoachaca con 262 m; Tepetzingo con 202 m; Tenancingo con 251 m y Los Morales con 377 m de carga.

Todas ellas cuentan con sus respectivas torres de oscilación o tanques de cambio de régimen, hasta la planta potabilizadora que se construirá con procesos de clarificación, sedimentación y filtración cerca de la población de Tarango. Desde la planta potabilizadora los volúmenes se conducirán hasta el Túnel Analco - San José, donde se incorporarían al Sistema Cutzamala.

Conviene destacar que se han identificado demandas potenciales de riego del orden de los 6 m³/s, las cuales no ha sido posible satisfacer por el alto costo de la infraestructura de captación. Sin embargo, este uso alternativo local de las presas del sistema Amacuzac, tendría que ser considerado una vez desarrollado el proyecto.

7.4. Proyectos de Oriental y Tula - Taxhimay

Aún cuando estos proyectos ya no se consideran como fuentes de abastecimiento viables es conveniente mencionar que el aprovechamiento subterráneo de Oriental, en el Estado de Puebla, fue considerado como proyecto prioritario, incluso su construcción fue propuesta antes del Sistema Cutzamala. Sin embargo, los conflictos sociales locales y posteriormente, el crecimiento de la demanda regional, principalmente de la Ciudad de Puebla, obligaron a eliminarlo.

CAPÍTULO 7

En la década de los ochenta, ante la presión de la CFE para que no se construyeran la segunda y tercera etapa del Cutzamala, se intentó revivirlo, pero la reacción local no se hizo esperar, dando por resultado que se proyectara el aprovechamiento denominado Moctezuma, que consiste en aprovechar parcialmente el acuífero del Oriental, para abastecer a la Ciudad de Puebla, sin embargo, este proyecto tampoco resultó viable por su costo y oposición social.

Algo semejante sucedió en el caso del aprovechamiento del río Tula, que fue reduciendo sus posibilidades captación debido al crecimiento de las demandas de riego locales, hasta dejarlo reducido a la captación de la presa Taxhimay sobreelevada, misma que requiere considerables inversiones para un gasto que cada vez hace menor los nuevos aprovechamientos construidos aguas abajo, que disminuyen la oferta del proyecto para uso de agua potable. También este proyecto en su oportunidad se descartó.

7.5. Proyecto Temascaltepec.

La cuenca del río Temascaltepec se localiza en el sur poniente del Estado de México, originándose en la vertiente occidental del Volcán Nevado de Toluca. En su inicio, los arroyos más altos forman el río Verde, el cual registra escurrimientos durante todo el año. Su trazo es con grandes pendientes y quiebres siguiendo la dirección suroeste hasta la población de Temascaltepec; a partir de este punto, cambia de nombre por el de esta población y conserva el rumbo hacia el suroeste hasta el sitio denominado "El Tule", siguiendo desde ahí la dirección poniente, presentando en su trazo zonas más encañonadas hasta el sitio conocido como Paso del Cobre, donde se tiene instalada la estación hidrométrica del mismo nombre.

CAPÍTULO 7

Hasta la hidrométrica Paso del Cobre se conforma la parte alta de la cuenca que corresponde a la zona de estudio del proyecto. Comprende una superficie de 646.6 km² y se localiza íntegramente dentro del Estado de México, entre las coordenadas geográficas 99° 45' y 100° 07' de longitud y los 18° 56' y 19° 14' de latitud norte, ocupando parcialmente los municipios de Valle de Bravo, Zinacantepec, Temascaltepec y San Simón de Guerrero.

El clima de la cuenca es semicálido y subhúmedo; la precipitación pluvial media anual es del orden de 1200 mm y la temperatura promedio oscila entre los 1 y 22 °C. Tiene una vegetación abundante, predominando las especies forestales de montaña, principalmente el pino, oyamel y encino, aún cuando en algunas partes se presentan claros y zonas erosionadas, debido a talas irracionales.

El volumen promedio anual registrado en los últimos 16 años es de 286,868,000 m³, lo que equivale a 9.1 m³/s. Este caudal se ha tenido que ajustar mediante modelos de correlación, pues por las condiciones físicas parte de este escurrimiento no llega a la presa de almacenamiento El Tule, resultando así un gasto sólo de 6.0 m³/s.

Conforme a los estudios hidrológicos por GRAVAMEX y validados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM en el sitio seleccionado para la construcción de la presa se puede garantizar un gasto firme de 5.0 m³/s, cumpliendo con las restricciones para satisfacer una demanda de agua potable si se regulan estos caudales en la Presa Valle de Bravo.

El proyecto se puede observar en la figura 17.

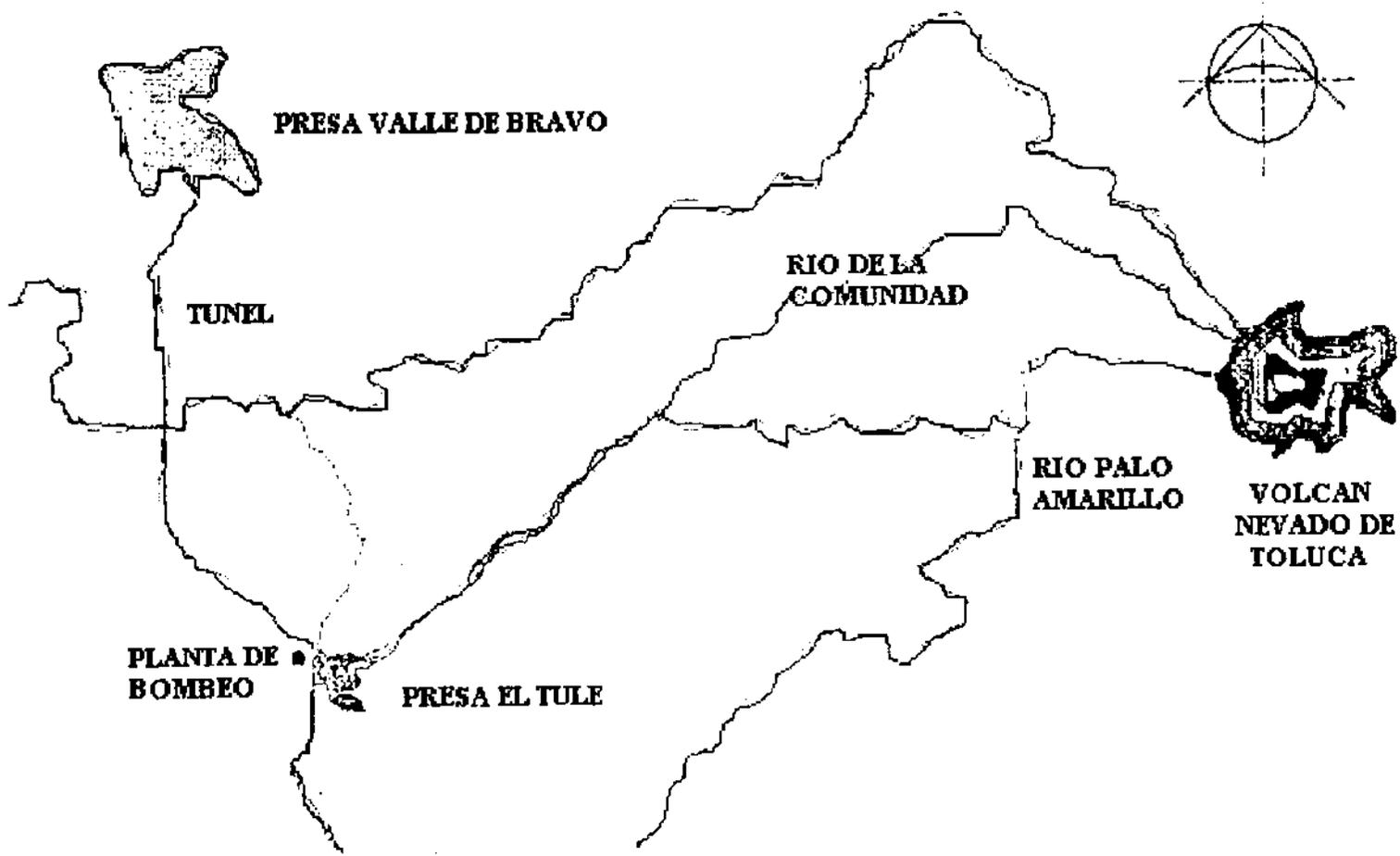


Fig. 17. - Temascaltepec.

CAPÍTULO 7

El proyecto consiste en la construcción de una presa de almacenamiento con una cortina de 71 m de altura y longitud de 650 m. La obra de toma permitirá enviar los caudales hasta el cárcamo de la planta de bombeo, mediante una tubería de acero de 3 m de diámetro y 160 m de longitud. Se ha planeado modular la planta de bombeo con cuatro equipos de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ cada uno, para una capacidad de bombeo de $16 \text{ m}^3/\text{s}$ con una carga de 270 m.

A la salida de la planta de bombeo se construirá una rampa de presión que albergará una línea de tubería de 2.15 m de diámetro con 4.74 km de longitud, hasta una estructura amortiguadora de golpe de ariete y de transición al cambio de régimen de gravedad, desde donde iniciará un túnel que se le ha denominado "Temascaltepec" con una longitud de 14 km en sección tipo portal de $4.20 \times 4.20 \text{ m}$, conduciendo el agua hasta la presa Valle de Bravo.

La fuente de suministro de energía eléctrica en alta tensión para la planta de bombeo será la subestación Donato Guerra, localizada a unos 32 km, donde se recibe energía generada en Infiernillo y se transforma de 440 a 115 KV, para alimentar al Sistema Cutzamala.

En la presa Valle de Bravo se logra la incorporación al sistema Cutzamala, conduciéndose los volúmenes conjuntos mediante el bombeo de las plantas 2, 3 y 4 que vencen cargas dinámicas de 122, 350 y 350 metros, respectivamente, hasta descargar en el vaso de regulación Donato Guerra, desde donde por gravedad fluye hasta la planta potabilizadora de los Berros, a través de un nuevo acueducto de aproximadamente 7 km que sustituirá el antiguo canal abierto y un túnel de 3.1 km de longitud y sección herradura de 4.2 m de diámetro y una línea de tubería de concreto que conecta con el tanque receptor de la potabilizadora.

CAPÍTULO 7

Después de ser potabilizados, el agua será conducida a la planta de bombeo 5, venciendo una carga de 174 m, para llevarla mediante dos líneas de tuberías de concreto presforzado a través del Valle del Alto Lerma, al norte de la Ciudad de Toluca, para la cual se deriva un ramal diseñado para una capacidad de 1.5 m³/s, continuando hasta llegar a la Sierra de Las Cruces, donde cruza hacia el Valle de México mediante el Túnel Analco San José de 16 Km de longitud.

En la Lumbreira 3 de ese túnel se aloja una estructura repartidora de los caudales para el Distrito Federal y para el área metropolitana, de los Valles de Cuautitlán - Texcoco en el Estado de México.

7.6. Otros proyectos.

Otros proyectos de menor tamaño, que en su momento fueron atractivos, también han quedado pendientes, como es el caso de los aprovechamiento de los ríos del poniente en el Valle de México, debido a que el escurrimiento de la mancha urbana y la falta de control de las descargas de aguas residuales han degradado la calidad, sin que exista por el momento la posibilidad de potabilizarla; además de otros inconvenientes, como el requerir suspender su uso actual en riego cambiándolo por el agua potable y el tener que reducir los niveles de aprovechamiento de las presas, para evitar posibles desastres en caso de presentarse una avenida que demande la capacidad total de almacenamiento, para regularizarla y controlarla.

Existe la posibilidad a futuro de aprovechar en mayor medida los escurrimientos superficiales, una vez que se hayan saneado las cuencas y se hayan reubicado algunos grupos de población que actualmente invaden la zona federal de cauces y vasos. Sin embargo, los caudales aprovechables son poco significativos

CAPÍTULO 7

comparados con los requerimientos y los proyectos antes mencionados. Su aportación se considera, de hecho, como complementaria ya que constituyen la opción de menor costo.

En general, un aprovechamiento factible en cuanto a caudal, consiste en el cambio de uso de caudales actualmente utilizados para riego dentro del Valle de México, sustituyéndolos por aguas residuales tratadas. Desde 1972, recién creada la CAVM, se intentó realizar las obras correspondientes, pero fue necesario abandonarlas debido a la oposición de la población local, básicamente por desconocimiento.

7.7. Reúso de las aguas negras de la ZMVM.

La alternativa del reúso del agua negra para consumo humano ha sido muy poco estudiado en México, debido a que el agua negra tratada es usada para riego agrícola o en procesos industriales.

La Gerencia Técnica de Aguas del Valle de México propuso el proyecto "Sistema de tratamiento y reúso del Valle de México" ("Reúso del agua como un complemento de la oferta en el Valle de México". Domínguez y Parra, 1998.) , el cual contempla tres etapas:

Etapas de rehabilitación: Proponen terminar las obras que actualmente se encuentran en construcción y/o equiparlas, siendo este el caso de 5 plantas en el Distrito Federal: Santa Fe ($0.225 \text{ m}^3/\text{s}$), San Lorenzo ($0.280 \text{ m}^3/\text{s}$), Topilejo ($0.007 \text{ m}^3/\text{s}$), San Nicolás Tetelco ($0.015 \text{ m}^3/\text{s}$) y el Rastro de Milpa Alta ($0.008 \text{ m}^3/\text{s}$) para un total de $0.535 \text{ m}^3/\text{s}$. Además proponen la máxima recuperación posible de las plantas existentes que operan a una menor capacidad que la de diseño, por medio de

CAPÍTULO 7

rehabilitación, reposición y a la sustitución de equipos, tanques, etc., para llegar a los resultados mostrados en la tabla 30.

Tabla 30.- Rehabilitación de sistemas de tratamiento del Valle de México.

ENTIDAD	# PLANTA	Q _D (m ³ /s)	Q _{OP} (m ³ /s)	CAUDAL MÁXIMO DESPUES DE REHABILITACIÓN	% EFICIENCIA ALCANZADA	COSTO ESTIMADO (miles de pesos)
D. F.	24	6.403	3.412	5.305	82.85	187,140
E. MEXICO	22	2.719	1.204	2.170	85.07	86,515
HIDALGO	2	0.022	0.004	0.022	100	3,900
TLAXCALA	8	0.083	0.020	0.081	100	4,726
TOTAL	56	9.227	4.640	7.578	83.69	282,282

Fuente: Ernesto Domínguez y Hugo Parra. Reúso del agua como un complemento de la oferta en el Valle de México. Revista Ingeniería Civil. México, noviembre de 1998.

Con esto se espera obtener una eficiencia del 83.69 % con un caudal total recuperado de 3.083 m³/s.

Eta de Ampliación: Proponen efectuar aplicaciones en las plantas existentes donde haya demanda y se disponga de área suficiente. Esto permitirá incrementos en la oferta hasta 9.26 m³/s. Los resultados esperados se muestran en la tabla 31.

Tabla 31.- Proyectos para ampliar las plantas del Valle de México

ENTIDAD	NIVEL	# PLANTAS	CAUDAL (m ³ /s)	COSTO ESTIMADO (miles de pesos)
D. F.	2	1	0.458	182,009
	3	1	0.075	
	4	9	0.280	
MEXICO	3	2	0.420	134,982
	2	2	0.300	
HIDALGO	2	1	0.005	735
TOTAL			1.538	317,727

Fuente: Ernesto Domínguez y Hugo Parra. Reúso del agua como un complemento de la oferta en el Valle de México. Revista Ingeniería Civil. México, noviembre de 1998.

CAPÍTULO 7

Etapa de Expansión: Consideraron los proyectos de reúso ya existentes en cada una de las entidades y donde no se cuenta con planes al respecto. En la tabla 32 se muestra el resumen de lo antes mencionado.

Tabla 32.- Resumen de proyectos para la construcción de plantas de tratamiento en el Valle de México programas para los periodos 2001 a 2005 y 2006 a 2010

No.	TIPO DE USO	NIVEL	CAPACIDAD Y COSTOS DE PROYECTOS					
			2001-2005		2006-2010		TOTAL	
	D. F.		m ³ /s	Miles de \$	m ³ /s	Miles de \$	m ³ /s	Miles de \$
1.0	Consumo industrial y comercial	3	0.510	91,810	0.460	82,800	0.970	174,600
2.0	Riego áreas verdes	2	0.01	1,800	0.01	1,800	0.020	3,600
3.0	Recargo del acuífero	4	1.405	337,871	1.360	326,972	2.765	664,844
4.0	Doméstico	4	1.320	319,706	1.300	314,862	2.620	634,569
	Total		3.245	751,178	3.130	726,435	5.045	1,477,613
	Edo. México		m³/s	Miles de \$	m³/s	Miles de \$	m³/s	Miles de \$
1.0	Consumo industrial y comercial	3	0.705	148,050			0.705	148,050
2.0	Recarga del acuífero	4	1	242,002	1	242,002	2	484,004
3.0	Riego agrícola	2	4.722	843,459	5.160	928,800	9.932	1,722,259
	Total		6.477	1,233,511	6.160	1,170,802	12.637	2,404,313
	Edo. Hidalgo		m³/s	Miles de \$	m³/s	Miles de \$	m³/s	Miles de \$
1.0	Riego agrícola	2	0.350	63,000	0.315	56,700	0.665	119,700
	Total		0.350	63,000	0.315	56,700	0.665	119,700
	Edo. Tlaxcala		m³/s	Miles de \$	m³/s	Miles de \$	m³/s	Miles de \$
2.0	Riego agrícola	2	0	0	0.01	1,800	0.01	1,800
	Total		0	0	0.01	1,800	0.01	1,800

Fuente: Ernesto Domínguez y Hugo Parra. Reúso del agua como un complemento de la oferta en el Valle de México. Revista Ingeniería Civil. México, noviembre de 1998.

CAPÍTULO 7

En resumen, ellos aclaran que si el proyecto se hubiera desarrollado a partir de 1988, en el año 2000 se obtendría 9.075 m³/s, mientras que en el año 2005 se ampliaría hasta 19.14 m³/s y al final de la primera década se obtendría un caudal de 27.43 m³/s.

Como se observa en el proyecto anterior, se puede obtener un gasto de reúso de 27.432 m³/s de aguas negras. Dicho gasto estará repartido en diferentes usos como son el agrícola, industrial, comercial, doméstico y recarga del acuífero. Esto origina un costo total de 4603.435 millones de pesos. De los 27.43 m³/s, aproximadamente 7.7 m³/s serían para consumo humano. De éstos 7.4 m³/s necesitarían una inversión de 1.783 millones de pesos. En la tabla 37 se presentan los costos desglosados.

7.8. Costos comparativos de los proyectos

Como sólo se cuenta con la información de los proyectos Temascaltepec, Amacuzac y Tecolutla I, no se contemplarán los mencionados en la sección "Otros proyectos". Las inversiones requeridas para la construcción de las obras y el tiempo requerido de ejecución, se muestran en la tabla 33.

Tabla 33.- Inversiones de proyectos futuros de abastecimiento de agua para el Valle de México.

PROYECTO	GASTO TRANSFERIBLE m ³ /s	INVERSIÓN Millones de pesos	PERIODO DE CONSTRUCCIÓN AÑOS	CARGA m
TEMASCALTEPEC	5.0	3,371.25	4	1570
AMACUZAC	13.5	15,098.22	6	1700
TECOLUTLA I	9.8	8,954.25	5	1266
REÚSO AGUA NEGRA	7.4	1,783	10	0

Fuente: CNA, Factibilidad del proyecto integral para el abastecimiento de agua potable a la zona metropolitana del Valle de México.

CAPÍTULO 7

Para calcular los costos anuales de operación, la CNA cuantificó para cada uno de ellos, los consumos de energía eléctrica requerida para conducir los caudales hasta la Ciudad de México; el costo de energía eléctrica que consideraron para el análisis, fue el internacional de 0.5056 \$/KWH (0.064 U. S. Dlls), bajo la paridad de 7.90 pesos por dólar.

Como se había mencionado anteriormente, al transferir agua por cualquiera de los tres proyectos, se afectarán a diversos sistemas hidroeléctricos, por lo que en la tabla 34, se presenta el costo de operación de las plantas de bombeo, considerando únicamente la energía eléctrica y la afectación a la generación de la misma.

Tabla 34.- Costos anuales de operación y afectación de la energía eléctrica, usada en plantas de bombeo.

PROYECTO	OPERACIÓN		AFECTACIÓN		TOTAL		
	ENERGÍA GWH	Millones \$	ENERGÍA GWH	Millones \$	ENERGÍA GWH	Millones \$	\$/m ³
TEMASCALTEPEC	639.97	323.57	51.11	25.84	691.08	349.41	2.22
AMACUZAC	2,156.96	1,090.56	343.95	173.90	2500.91	1264.46	2.97
TECOLUTLA I	1,556.52	786.98	587.99	297.29	2144.91	1084.27	3.51

Fuente: CNA, Factibilidad del proyecto integral para el abastecimiento de agua potable a la zona metropolitana del Valle de México.

- Temascaltepec afecta a las plantas hidroeléctricas existentes de la Villita e Infiernillo.

- Amacuzac afectaría a las plantas del Caracol, San Juan Tetelcingo, La Villita e Infiernillo.

CAPÍTULO 7

- Tecolutla afectaría al sistema hidroeléctrico Necaxa y Mazatepec, específicamente a las plantas Necaxa, Tepexic, Patla, Tezcapa y Mazatepec.

El proyecto Temascaltepec fue seleccionado para ser el primero en entrar en operación, por las siguientes consideraciones: es el de menor costo por metro cúbico; como se aprovecharía el sistema Cutzamala, no hay repercusión en impacto ambiental; la conducción hasta incorporarse con este sistema, es el de menor longitud; y no produce daños a la cuenca, ya que se transportarían los excedentes.

Para darse una idea de cuánto cuesta bombear un metro cúbico a la Ciudad de México, utilizando las tarifas de 1998, se utilizara la demanda eléctrica antes mencionada (operación más afectación) y se multiplicará por la tarifa promedio H-M. Esto se muestra en la tabla 35.

Tabla 35.- Costos anuales de operación y afectación de la energía eléctrica, usada en plantas de bombeo para el año de 1998.

PROYECTO	ENERGIA KWH	TOTAL		\$/m ³
		\$/KWH H-M PROM	Millones \$	
TEMASCALTEPEC	691,080,000.00	0.68256	471.703564	2.99
AMACUZAC	2500,910,000.00	0.68256	1,707.021130	4.01
TECOLUTLA I	2144,910,000.00	0.68256	1,464.029770	4.74

Para el caso del sistema de tratamiento, como los proyectos incluyen los procesos de floculación, sedimentación, filtrado y clorado, el costo por cada metro cúbico de agua tratada, será de 0.16 pesos. Por lo que en la tabla 36, se muestra el caudal y el costo de tratamiento anual para cada proyecto.

CAPÍTULO 7

Tabla 36.- Costo anual por tratamiento del agua de los proyectos de abastecimiento de agua al Valle de México.

PROYECTO	VOLUMEN m ³	COSTO \$/m ³	COSTO \$
TEMASCALTEPEC	157,680,000.00	0.16	25,228,800.00
AMACUZAC	425,736,000.00	0.16	68,117,760.00
TECOLUTLA I	309,052,800.00	0.16	49,448,448.00
REUSO AGUAS NEGRAS	232,735,680	8.87*	1,824,647,700.00

* Incluye tratamiento de lodos activados.

El costo de trasladar agua potable a la ZMVM para cada alternativa se muestra en la tabla 37.

Tabla 37.- Costo total de proyectos de abastecimiento de agua al Valle de México.

PROYECTO	Transporte	Potabilización	Total	Transporte	Potabilización	Inversión
	\$/m ³	\$/m ³	\$/m ³	%	%	\$/m ³
TEMASCALTEPEC	2.99	0.16	3.15	94.9	5.1	3.89
AMACUZAC	4.01	0.16	4.17	96.2	3.8	6.01
TECOLUTLA I	4.74	0.16	4.9	96.7	3.3	5.46
REUSO AGUAS NEGRAS	0	8.87	8.87	0	100	0.95

CAPÍTULO 8

DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO TULA Y EL VALLE DEL MEZQUITAL

Ya que el Valle del Mezquital se encuentra dentro de la cuenca del río Tula, se presenta una breve descripción de los ríos principales y de los acuíferos que abarca, para después hablar del Valle del Mezquital. Todo esto como antecedente al capítulo nueve donde se describe el proyecto planteado.

8.1. Cuenca del Río Tula.

En esta cuenca no existe una división hidrológica previamente realizada, por lo que se dividirá teniendo en cuenta las subcuencas de drenaje de los ríos El Salto, El Salado y Alfayucan. En la figura 18 se muestra la división hidrológica antes mencionada y a continuación se presenta brevemente las principales características de cada una.¹¹

Zona A El Salto

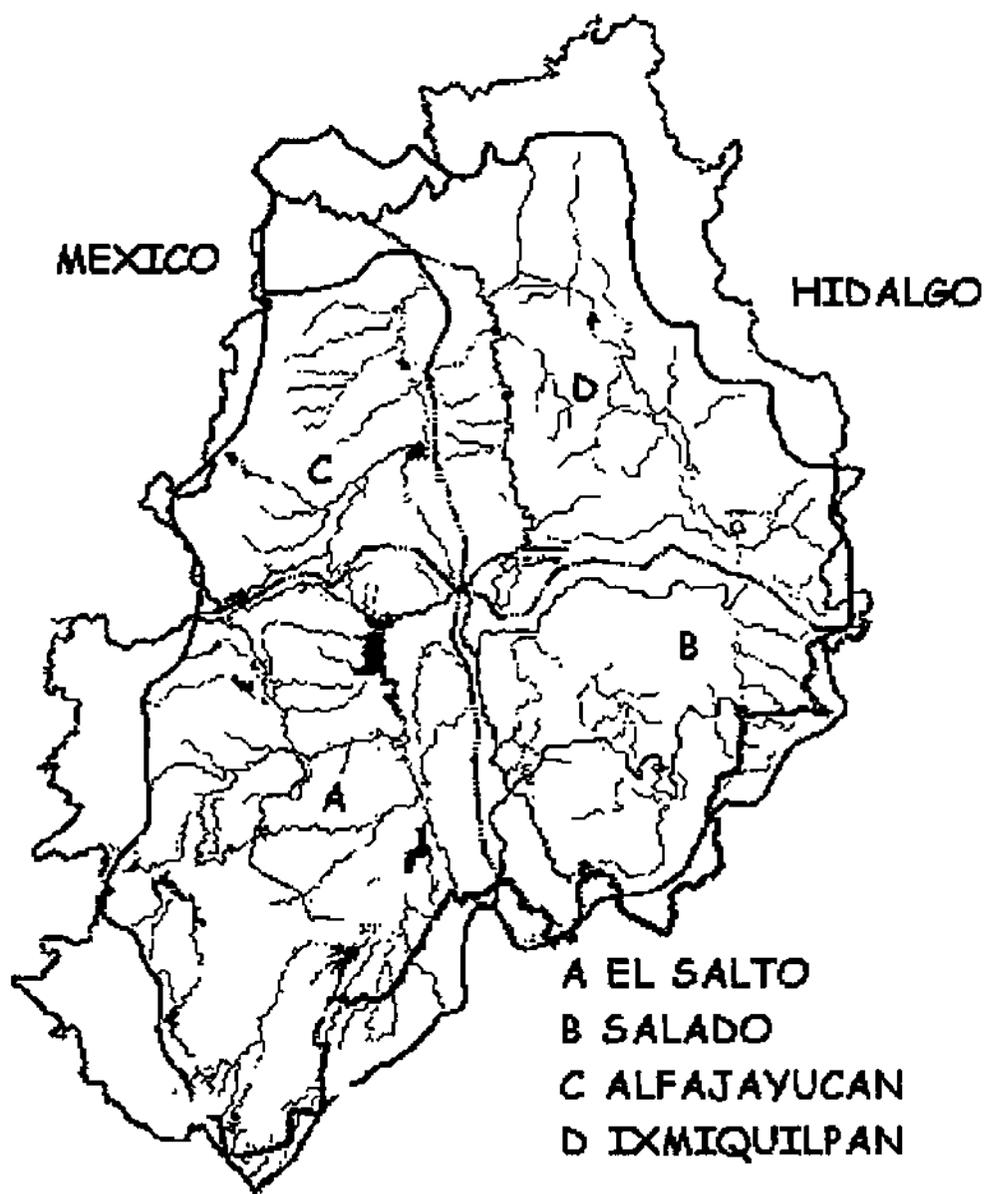
Comprende la cuenca del río del mismo nombre, desde su nacimiento a la salida del Tajo de Nochistongo, por un lado, y el cerro de la Bufa por el otro, pasando por las presas de Taxhimay, Requena y Endhó en su recorrido. Sus cauces principales están bien definidos, corresponden a un régimen de escurrimiento perene, debido principalmente a que por el Salto se reciben las aportaciones de parte de las aguas residuales de la Ciudad de México, provenientes del Emisor Poniente a través del Tajo

¹¹ Secretaría de Recursos Hidráulicos. "Posibilidades de abastecimiento de agua en el Valle del Mezquital, estado de Hidalgo". Tomo 1. 1961.

CAPÍTULO 8

de Nochistongo. Tiene un escurrimiento medio anual de 209.4 millones de m^3 ($6.64 m^3/s$), la época de lluvias abarca de julio a octubre y en ésta se concentra el 80% de los escurrimientos, 138.6 millones de m^3 ($13.18 m^3/s$),

Figura 18. - División hidrológica de la cuenca del Río Tula



CAPÍTULO 8

mientras que en la época de estiaje que comprende de enero a abril los escurrimientos medios son de 35.5 millones de m^3 ($3.78 m^3/s$). Tiene una extensión de $2251 km^2$ y una longitud de cauces principales de 436 km. Presenta una precipitación media anual de 735 mm.

Zona B Salado

Corresponde a la cuenca del Río Salado, desde los túneles de Tequixquiac, en el límite de los estados de México e Hidalgo y ocupa el extremo sureste de esta cuenca. Sus cauces están bien definidos, son estables y al igual que en el río El Salto, son perennes principalmente por el aporte que el Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México realiza en esta corriente. Esta zona destaca por la uniformidad de sus escurrimientos a través del tiempo, no existiendo una marcada diferencia entre estiaje y avenidas: esto se debe a que las descargas de las aguas residuales de la ZMCM regulan los escurrimientos de la zona, el cual es de 499.6 millones de m^3 ($15.84 m^3/s$), en la época de lluvias es de 279.1 millones de m^3 ($26.55 m^3/s$), mientras que en la época de estiaje es muy semejante, 145.3 millones de m^3 ($13.82 m^3/s$). Tiene una extensión de $635 km^2$ y una longitud de cauces principales de 111.0 km con una precipitación media anual de 543 mm.

Zona C Alfajayucan

Abarca la cuenca del río del mismo nombre, el que une en su recorrido a las presas Javier Rojo Gómez y Vicente Aguirre. Sus cauces presentan un escurrimiento perenne y debido a las características topográficas y morfológicas de los suelos en la región, se consideran estables. Tiene un escurrimiento medio anual de 225.3 millones de m^3 ($7.15 m^3/s$), el periodo de lluvias abarca de julio a octubre y en éste el escurrimiento medio es de 163.1 millones de m^3 ($15.52 m^3/s$), mientras que en la de estiaje se presenta de diciembre a mayo con un escurrimiento de 79.9 millones de m^3

CAPÍTULO 8

(5.07 m³/s). Tiene una superficie de 872 km², una longitud de cauces principales de 145 km y en ésta zona se tiene una lámina de lluvia media anual de 473 mm.

Zona D Ixmiquilpan

Incluye los ríos Chicavasco y principalmente el río Tula, desde la confluencia de los ríos El Salto y Salado, hasta su confluencia con el río Moctezuma. Se localiza en el extremo norte de la cuenca, sus cauces principales están bien definidos y son estables, con régimen perenne. El volumen medio de escurrimiento anual es de 722.3 millones de m³ (22.9 m³/s), el periodo de lluvias abarca de julio a septiembre, con escurrimientos de 421.5 millones de m³ (53.46 m³/s), mientras que la época de estiaje abarca de noviembre a julio, con un escurrimiento de 173.1 millones de m³ (8.23 m³/s). Tiene una extensión de 2792 km², una longitud de cauces principales de 580.0 km y una precipitación media anual de 497 mm. En la tabla 38 se anotan las principales características hidrológicas descritas para cada zona.

Tabla 38.- Principales características hidrológicas de la cuenca del Río Tula.

ZONA	NOMBRE	LONGITUD KM	VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO EN MILL. m ³		
			MEDIO ANUAL	LLUVIAS	ESTIAJE
A	EL SALTO	436.0	209.4 (6.64 m ³ /s)	138.6 (13.184 m ³ /s)	35.5 (3.777 m ³ /s)
B	SALADO	111.0	499.6 (15.84 m ³ /s)	279.1 (26.55 m ³ /s)	145.3 (13.822 m ³ /s)
C	ALFAJAYUCAN	145.0	225.3 (7.14 m ³ /s)	163.1 (15.515 m ³ /s)	79.9 (5.067 m ³ /s)
D	IXMIQUILPAN	580.0	722.3 (22.9 m ³ /s)	421.5 (53.463 m ³ /s)	173.1 (8.233 m ³ /s)

Fuente: Sria. De Recursos Hidráulicos. Boletín hidrológico No. 27 y No. 45.

8.2. Acuíferos dentro de la cuenca.

La cuenca del río Tula se puede dividir en 7 subsistemas de acuíferos, siendo estos: Tepeji del Río, Ajacuba, Chapatongo - Alfajayucan, Valle del Mezquital, Santiago de Anaya Actopan, Ixmiquilpan - Tasquillo y el Astillero. En la figura 19 se

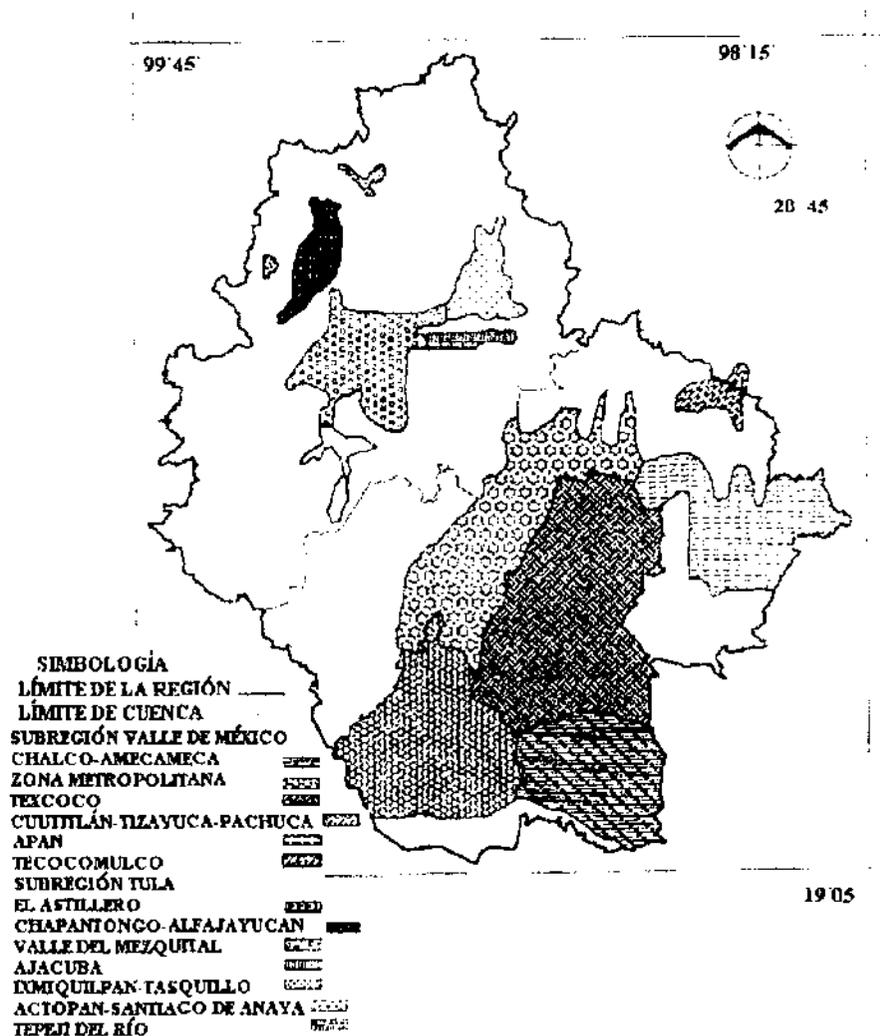
CAPÍTULO 8

muestran las cuencas antes mencionadas y a continuación se describirán brevemente cada una de ellas.

Tepeji del Río

La recarga de este acuífero viene de la Sierra La Muerta con trayectoria suroeste - noreste con abatimientos bajos en la región Tepeji del Río, sobre toda las cercanías de la presa Requena.

Figura 19.- División hidrológica de la cuenca del Río Tula.



CAPÍTULO 8

Se trata de un acuífero de tipo combinado, libre y confinado, con un área de recarga de 210 km², en el que la condición geohidrológica es de subexplotación ya que el volumen de extracción provocado por 75 aprovechamientos es de 15 millones de m³/año (0.48 m³/s), menor que los 17 millones de m³/año (0.54 m³/s) de recarga. Su condición es de veda rígida.

Ajacuba

Para este subsistema la recarga se genera de sur a norte. Dispone de un área de recarga de 127 km². Los abatimientos de las curvas de igual nivel estático son muy bajos, se encuentra en una condición geohidrológica de subexplotación, la extracción provocada por 25 aprovechamientos es de 6.6 millones de m³/año (0.21 m³/s), contra 7.0 millones de m³/año (0.22 m³/s) de recarga. Su condición administrativa es de veda intermedia.

Chapatongo - Alfajayucan

Se localiza en la porción noreste de la región, la recarga proviene del sur y suroeste de un área de 224 km², presentando abatimientos de Chapatongo hacia Alfajayucan del orden de -15 m los primeros y de -5 m los segundos. El acuífero es de tipo libre, y es subexplotado, ya que el volumen de extracción provocado por 29 aprovechamientos es de 6.75 millones de m³/año (0.21 m³/s) mientras que la recarga alcanza los 7.0 millones de m³/año (0.22 m³/s). Corresponde a una condición administrativa de veda intermedia.

Valle del Mezquital

Este acuífero se localiza en la zona central de esta cuenca. La recarga proviene principalmente del sur, aunque también recibe aportes del este y del oeste, proveniente de un área de recarga de 552 km². Su condición geohidrológica es

CAPÍTULO 8

subexplotado, ya que la mayor parte del riego de esta región se hace con las aguas negras provenientes del Distrito Federal. La recarga calculada es de 232 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ ($7.36 \text{ m}^3/\text{s}$) y mediante 204 aprovechamientos se extraen 203.40 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ ($6.45 \text{ m}^3/\text{s}$). Le corresponde una veda elástica.

Santiago de Anaya - Actopan

Este acuífero de tipo libre recibe la recarga del sur y del este de un área de influencia de 819 km^2 , los niveles más elevados dentro del subsistema se encuentran en la región de Actopan. Se encuentra en una condición geohidrológica de subexplotación, la recarga es mayor que la extracción, 53 ($1.68 \text{ m}^3/\text{s}$) contra 43.2 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ ($1.37 \text{ m}^3/\text{s}$). En esta zona se localizan 163 aprovechamientos y esta sujeto a una veda elástica.

Ixmiquilpan - Tasquillo

Para este acuífero libre y confinado, la recarga proviene principalmente del oeste, de las cumbres de Zapata así como del sur, por los escurrimientos superficiales del Río Tula, el área de influencia es de 364 km^2 . Los abatimientos reportados por las curvas de nivel de igual elevación estática son bajos, del orden de -3 m , se encuentra en una condición geohidrológica de equilibrio, ya que la extracción debida a 45 pozos es de 18.2 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ ($0.57 \text{ m}^3/\text{s}$) y la recarga casi lo iguala, 18 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ ($0.57 \text{ m}^3/\text{s}$). Su condición administrativa corresponde a una veda intermedia.

El Astillero

Ubicado en el extremo noroeste de la región, es un pequeño acuífero libre, el cual recibe su recarga del noroeste mediante un área de 40 km^2 . Los abatimientos de las curvas de igual elevación estática son bajos, se encuentra en una condición geohidrológica de sobreexplotado, la extracción de este acuífero motivada por 3

CAPÍTULO 8

aprovechamientos es de 2.5 millones de m³/año (0.08 m³/s) contra una recarga de 2 millones de m³/año (0.06 m³/s). Le corresponde una condición administrativa de veda intermedia. En las tablas 39 a 45, se muestran las principales características de las subcuencas del Río Tula.

Tabla 39.- Principales características del Río Tula.

ACUÍFERO	CONDICIÓN		TIPO	VOLUMEN EXTRAÍDO m ³ /s	VOLUMEN DE RECARGA m ³ /s
	GEOHIDROLÓGICA	ADMINISTRATIVA			
EL ASTILLERO	SOBREEXPLOTADO	INTERMEDIA	LIBRE	0.0792	0.063
CHAPATONGO - ALFAJAYUCAN	EQUILIBRIO	INTERMEDIA	LIBRE	0.2140	0.222
VALLE DEL MEZQUITAL	SOBREEXPLOTADO	ELASTICA	-	6.4497	7.357
AJACUBA	SOBREEXPLOTADO	INTERMEDIA	-	0.2093	0.222
IXMIQUILPAN - TASQUILLO	EQUILIBRIO	INTERMEDIA	LIBRE Y CONFINADO	0.5771	0.571
ACTOPAN-SANTIAGO DE ANAYA	SUBEXPLOTADO	ELASTICA	LIBRE	1.3698	1.681
TEPEJI DEL RÍO	SUBEXPLOTADO	RÍGIDA	LIBRE Y CONFINADO	0.4756	0.539

Fuente: CNA, Gerencia de Aguas Subterráneas, 1997.

Tabla 40.- Número de aprovechamientos del acuífero del Río Tula.

ACUÍFERO	ÁREA Km ²	NÚMERO APROV.	DISTRIBUCIÓN DE POZOS POR USO			
			AGRÍCOLA	PÚBLICO	DÓMESTICO	INDUSTRIAL
EL ASTILLERO	40	3	1	2	0	0
CHAPATONGO - ALFAJAYUCAN	224	29	14	9	6	0
VALLE DEL MEZQUITAL	552	204	29	39	64	72
AJACUBA	127	25	4	5	16	0
IXMIQUILPAN - TASQUILLO	364	45	21	15	4	5
ACTOPAN-SANTIAGO DE ANAYA	819	163	105	38	16	4
TEPEJI DEL RÍO	210	75	31	14	8	22
TOTAL	2336	544	205	122	114	103

Fuente: Comisión Nacional del Agua. Gerencia de aguas subterráneas, 1997.

CAPÍTULO 8

Tabla 41.- Uso del agua subterránea en la cuenca del Río Tula.

ACUÍFERO	VOLUMEN DE AGUA Mm ³ /año	USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA Mm ³ /año (m ³ /s)			
		AGRÍCOLA	PÚBLICO	DOMÉSTICO	INDUSTRIAL
EL ASTILLERO	2.5 (0.08)	1.0 (0.03)	1.5 (0.05)	0.0	0.0
CHAPATONGO - ALFAJAYUCAN	6.8 (0.22)	4.2 (0.13)	2.3 (0.07)	0.3 (0.01)	0.0
VALLE DEL MEZQUITAL	203.4 (6.45)	29.0 (0.92)	48.0 (1.52)	90.4 (2.87)	36.0 (1.14)
AJACUBA	6.6 (0.21)	2.0 (0.06)	3.0 (0.9)	1.6 (0.05)	0.0
IXMIQUILPAN - TASQUILLO	18.2 (0.58)	10.5 (0.33)	5.2 (0.16)	1.0 (0.03)	1.5 (0.05)
ACTOPAN-SANTIAGO DE ANAYA	43.2 (1.37)	26.5 (0.84)	15.2 (0.48)	0.5 (0.02)	1.0 (0.03)
TEPEJI DEL RÍO	15.0 (0.48)	4.5 (0.14)	4.0 (0.13)	0.5 (0.02)	6.0 (0.19)
TOTAL	295.7 (9.38)	77.7 (2.46)	79.2 (2.51)	94.3 (3)	44.5 (1.41)

Fuente: Comisión Nacional del Agua. Gerencia de aguas subterráneas, 1997.

Tabla 42.- Características de los acuíferos en Hidalgo.

ACUÍFERO	CALIDAD DEL AGUA STD	VOLUMEN DE EXTRACCION Mm ³ /año (m ³ /s)	PROF. MEDIA AL NIVEL EST. m	POTENCIA REQUERIDA HP	POTENCIA REQUERIDA KW
EL ASTILLERO	-	2.50 (0.08)	-	-	-
CHAPATONGO - ALFAJAYUCAN	0.00	6.75 (0.22)	90.0	2368.4	1766.8
VALLE DEL MEZQUITAL	0.00	203.4 (6.45)	47.5	1250.0	932.5
AJACUBA	-	6.60 (0.21)	-	-	-
IXMIQUILPAN - TASQUILLO	-	18.20 (0.58)	-	-	-
ACTOPAN-SANTIAGO DE ANAYA	0.00	43.20 (1.37)	35.0	921.1	687.1
TEPEJI DEL RÍO	0.00	15.00 (0.48)	32.5	855.3	638.0
TOTAL	-	295.65 (9.38)	-	5394.8	4024.4

Fuente: Comisión Nacional del Agua. Gerencia de aguas subterráneas, 1997.

CAPÍTULO 8

Tabla 43.- Costos de 1998 para los Sistemas Subterráneos.

MES	DIAS	M3/S PROM	M3/MES	TARIFA 6	KWH	\$
ENERO	31	9.38	25110000	0.54414	2994153.6	1629238.74
FEBRERO	28	9.38	22680000	0.55067	2704396.8	1489230.186
MARZO	31	9.38	25110000	0.55728	2994153.6	1668581.918
ABRIL	30	9.38	24300000	0.56397	2897568	1634141.425
MAYO	31	9.38	25110000	0.57074	2994153.6	1708883.226
JUNIO	30	9.38	24300000	0.57759	2897568	1673606.301
JULIO	31	9.38	25110000	0.58452	2994153.6	1750142.662
AGOSTO	31	9.38	25110000	0.59153	2994153.6	1771131.679
SEPTIEMBRE	30	9.38	24300000	0.59863	2897568	1734571.132
OCTUBRE	31	9.38	25110000	0.60581	2994153.6	1813888.192
NOVIEMBRE	30	9.38	24300000	0.61308	2897568	1776440.989
DICIEMBRE	31	9.38	25110000	0.62044	2994153.6	1857692.66
TOTAL	365	9.38	295650000	-	35253744	20507549.11

Como se puede ver, la potencia anual requerida es de 35,253,744 KWH, mismos que corresponden a 20,507,549.11 pesos. El costo por cada metro cúbico de agua bombeada es de 0.58 \$/m³.

8.3. El Valle del Mezquital.

Se localiza en el Edo. de Hidalgo, sus coordenadas geográficas aproximadamente son: 20° 20` a 20° 19` latitud norte y 99° 00` a 99°30` longitud oeste y se encuentra limitado físicamente en la parte norte por los municipios de Jacala y Mezquitlán, en la zona sur por Tula, al este por Actopan y al oeste por Huichapan.

Físicamente cuenta con 29 municipios y una superficie de 8,094,60 km² y políticamente cuenta con 32 municipios y una superficie de 9,685.30 km². Esta área forma parte de las zonas áridas del país que comprenden una extensión de 90 millones de hectáreas.

CAPÍTULO 8

Tabla 44.- Fuentes de abastecimiento por municipio en la cuenca del Río Tula

MUNICIPIO	FUENTES DE ABASTECIMIENTO	TIPO DE FUENTE	PROF. (M)	NIVEL EST. (M)	GASTO (l/s)	LOCALIDADES A LAS QUE ABASTECE
1. TULA DE ALLENDE	CRUZ AZUL 1	POZO	40	4	3	CD. COOPERATIVA CRUZ AZUL
	CRUZ AZUL 2	POZO	98	10	1.5	CD. COOPERATIVA CRUZ AZUL
						MONTE ALEGRE Y PUEBLO NUEVO
	CRUZ AZUL 8	POZO	209	38	10	CD. COOPERATIVA CRUZ AZUL
	CRUZ AZUL 6	POZO	51	25	6	CD. COOPERATIVA CRUZ AZUL
	SAN LORENZO 1	POZO	65	12	8	SAN LORENZO
	SAN LORENZO 2 O MONTESILLOS	POZO	110	32	20	MONTESILLOS, INFONAVIT DE SAN LORENZO
	SEMINARIO MENOR 1	NORIA	28	18	2	SEMINARIO MENOR
	MICHIMALTONGO	POZO	150	47	22	MICHIMALOYA, SAN MIGUEL DE LAS PIEDRAS XITE DE ZAPATA, RETIRO, SAN FCO. BOJAY Y MICHIMALTONGO
	PUEBLO NUEVO	POZO	70		1.5	SAN MIGUEL VINDHO
	PUENDHO	POZO	239	10		
	SAN MIGUEL VINDHO 2	POZO	70	14	2	
	SAN MIGUEL VINDHO	POZO	283	13		
	SAN MIGUEL VINDHO	POZO	80	60	1	
	HEROES CARRANZA	POZO	200	30	21	HEROES CARRANZA XOCHITLAN, SAN ANTONIO, 4a MANZ DE STA. MARIA MACUA Y EDO. DE MEX. DAXTHI SANTA CRUZ, OXTHO Y SAN JOSE DE GENDHO
	SN. FCO. BOJAY	POZO	120	16	58	SN. FCO. BOJAY COLONIA
						LA PILA
						CARMEN, SAN MARCOS Y PARTE DE TULA CABECERA
	S. PEDRO ALPUYECA	POZO	55	36	7	S. PEDRO ALPUYECA
	EJIDO MONTE ALEGRE	POZO	100		8	MONTE ALEGRE
	SAN ANDRES	POZO	140	28	6.5	SAN ANDRES
	MANTZAS	POZO	100		10	MANTZA
	MANZANITAS 1	POZO	90	32	8	TULA CABECERA
	MANZANITAS 2	POZO	110	30	45	
	MANZANITAS 3	POZO	110	32	22	
	MANZANITAS 5	POZO	110	32	55	
	EL LLANO 2ª SEC.	POZO	100	16	35	EL LLANO 2ª SEC. PARTE DE 1ª SECC. E ITURBIDE

CAPÍTULO 8

Tabla 44.- Fuentes de abastecimiento por municipio en la cuenca del Río Tula (continuación)

MUNICIPIO	FUENTES DE ABASTECIMIENTO	TIPO DE FUENTE	PROF. (M)	NIVEL EST. (M)	GASTO (l/s)	LOCALIDADES A LAS QUE ABASTECE
	LA PERA No. 2	POZO	75	3	3	SANTA MARIA ILUCAN Y NUEVA STA. MARIA
	EL AILE No. 3	POZO	200	20	5	NUEVA STA. MARIA
	S.ANA AHUEHUEPAN	POZO	58	25	6	S.ANA AHUEHUEPAN
	BOMINTZHA	NORIA	50	42	4.5	BOMINTZHA DE LA F.
	1ª SEC. EL LLANO	POZO	55	26	6.5	1ª SEC. EL LLANO
	5 DE MAYO	POZO			15	TULA DE ALLENDE
	ALBORADA	POZO	120	10	2	COL. ALBORADA
	CARCAMO LA AMISTAD	MANANTIAL			23	ZARAGOZA, AMISTAD ZAABI, COLONIA 61,62 Y LA UNIVERSIDAD DE TULA TEPEJI
	SAN MARCOS	POZO	114	14	8	SAN MARCOS
	TEOCALCO	POZO			2	TEOCALCO
2. ACTOPAN	CANGUIHUINDO No. 1	POZO	12	2	2	CANGUIHUINDO
	CANGUIHUINDO No. 2	POZO	12	2	2	CANGUIHUINDO
	LA PENA	POZO	170	102	28	LA PEÑA CABECERA DE ACTOPAN
	BOTHIBAJI No. 1	POZO	123	40	30	BOTHIBAJI, PALOMO Y LA LOMA Y CABECERA DE ACTOPAN
	BOTHIBAJI No. 2	POZO	103	36	32	BOTHIBAJI, PALOMO Y LA LOMA Y CABECERA DE ACTOPAN
	LA ESTANCIA	POZO			20	LA ESTANCIA
	DEAJIDHI A.P.	POZO	135		8	DEAJIDHI
	COL. CUAUHTEMOC	POZO				COL. CUAUHTEMOC
	DAXTHA 3	POZO	130	41	45	4ª MANZANA DE DAXTHA
	HUAXTHO	POZO	25	3	4	EL HUAXTHO
	CHICAVASCO	POZO	83	52	8	CHICAVASCO
	POZO GRANDE, LA NORIA	POZO	139	11	100	ACTOPAN PARQUE URBAN, HUAXTHO, BOXTHA, DAXTHA Y RETROALIMENTA A SAN SALVADOR Y FCO.I. MADERO
	COMUNIDAD ACTOPAN	NORIA	10	7	1	
	CANADA ANTIGUA	POZO	150	88	8	CAÑADA CHICA ANTIGUA
3. TEZONTEPEC DE A	SISTEMA SAN GABRIEL	POZO	106	9	15	

CAPÍTULO 8

Tabla 44.- Fuentes de abastecimiento por municipio en la cuenca del Río Tula (continuación)

MUNICIPIO	FUENTES DE ABASTECIMIENTO	TIPO DE FUENTE	PROF. (M)	NIVEL EST. (M)	GASTO (l/s)	LOCALIDADES A LAS QUE ABASTECE
	CERRO COLORADO	MANANTIAL			810	SAN GABRIEL Y ATENGO, CARRANZA, HITEL A. HUITEL B. TEZONTEPEC, SAN JUAN, LA LOMA PANOAYA, 2a OBRA, 5 DE FEBRERO, PRESAS MANGAS, CRUZ, MIXQUIAHUALA, TINACO, CARRILLO PUERTO, MOTOBATHA, JUANDHO, TENHE, CAÑADA, PALOMILLAS ARBOL GRANDE PROGRESO, COL. MORELOS, COL. VERACRUZ, ESCUADRON 201, Dr. JOSE C. PARRIS, TLAHUELILPAN
	PUEDHE	MANANTIAL			300	PALMA, TUNITITLAN, TENANGO, TEXCALTEPEC, HUITEXCALCO, STA. MARIA BATHA
	MANANTIAL 1ª BRAZO	MANANTIAL			35	5 DE MAYO DE SNTGO. ACAYUTLAN
	MANANTIAL 2ª BRAZO	MANANTIAL			10	SNTGO. ACAYUTLAN
	MANANTIAL 3ª BRAZO	MANANTIAL			6	SNTGO. ACAYUTLAN
	ACHICHILCO	MANANTIAL			20	SAN JUAN ACHICHILCO
4. MIXQUIAHUALA	SAN ANTONIO ZARAGOZA		16	10	1	
	BENITO JUAREZ	POZO	150	125	8	BENITO JUAREZ
	JAGUEY BLANCO	POZO	100	70	8	JAGUEY BLANCO
	COL. VERACRUZ	POZO	200	80	25	VERACRUZ
	PEMEX POZO 6	POZO			33	CABECERA MIXQUIAHUALA Y CABECERA DE PROGRES
SAN SALVADO	EL BONDHO	POZO BROTANTE	80		30	EL BONDHO
	A.P. TEOFANI	POZO	210		25	SAN MIGUEL ALTA ACAMBAY, DENGANDHO DE J. SAN JOSE, CASA GRANDE, PALMA, DURAZNO, SAN ANTONIO ABAD, DEMACU, TEOFANI, BOXAXNI, BOXTHA CHICO, DEXTHA DE VICTORIA DEGANDHO DE J. SAN JOSE

CAPÍTULO 8

Tabla 44.- Fuentes de abastecimiento por municipio en la cuenca del Río Tula (continuación)

MUNICIPIO	FUENTES DE ABASTECIMIENTO	TIPO DE FUENTE	PROF. (M)	NIVEL EST. (M)	GASTO (l/s)	LOCALIDADES A LAS QUE ABASTECE
	LAGUNILLAS	POZO			40	LAGUNILLAS
	SAN SALVADOR	POZO BROTANTE			20	SAN SALVADOR, RODRIGO, PACHECO OLVERA, VIXTHA Y BUEMTHA
	CAXUXI	POZO			30	CAXUXI, BONINTZA CAÑADA GRANDE Y FCO. VILLA
	STA MARIA AMAJAC	POZO			30	STA MARIA AMAJAC SAN ANTONIO ZARAGOZA, POXINDEJE TOTHIE, RINCON COLORADO, TABLON FRESNO Y BOCAJA
	CHICHIMECAS	POZO	420	36	20	CHICHIMECAS CANADA XOTHI, XUCHITLAN, FLOR, MOTHE, MEZQUITAL, CERRO BLANCO, MESA, MAGUEY BLANCO Y TAXADO
6. FCO.I.MADERO	MENDOZA	POZO				EL MENDOZA, 4ª MANZANA DE TEPATEPEC Y DENGANTZHA
	MEXE	POZO	400	55	50	LAZARO CARDENAS, LOS FILTROS, LOS HERNANDEZ, ARAMBO BOCAMIÑO, LA COMUNIDAD FCO. VILLA COL. EL ROSARIO, LOS CHAVARRIAS, TEPATEPEC, SAN JUAN TAPA, COL EL VICENTE, JAGUEY DEL GONDSHUDY Y EL MEXE
7. ATOTONILCO DE T.	PRADERAS DEL POTRERO	POZO	220	90	7	PRADERAS DEL POTRERO
	No. 1					
	PRADERAS DEL POTRERO	POZO	180	60	7	PRADERAS DEL POTRERO
	No. 2					
	GUAYUCA					
	EL CAPULIN	POZO	137	118	11	EL PEDREGAL Y CUAYUC
	EMISOR CENTRAL	POZO BROTANTE			3	SAN ANTONIO Y SAN JOSE
	VITO No. 1	POZO	110	84	3	VITO
	VITO No. 2	POZO	350	64	15	

CAPÍTULO 8

Tabla 44.- Fuentes de abastecimiento por municipio en la cuenca del Río Tula (continuación)

MUNICIPIO	FUENTES DE ABASTECIMIENTO	TIPO DE FUENTE	PROF (M)	NIVEL EST. (M)	GASTO (l/s)	LOCALIDADES A LAS QUE ABASTECE
	NORIA No. 1	NORIA	27	25	2	
	NORIA No. 2	NORIA	30	25	2	
	NORIA No. 3	NORIA	35	33	2	
	NORIA No. 4	NORIA	30	27	2	
	NORIA No. 5	NORIA	22	18	4	
	EL MIRADOR	NORIA	25	22	3	COL. EL MIRADOR (VITO)
	ZACAMULPA A.P.	NORIA	53	49	4	ZACAMULPA
	OCAMPO	POZO	25	23	5	OCAMPO
ATOTONILCO (CONT)	CAÑADA	POZO	100	40	2	CAÑADA
	EL REFUGIO	POZO	300	34	65	EL REFUGIO
	PROGRESO	NORIA	14	12	4	EL PROGRESO
	VIEJO					
	PROGRESO NUEVO	POZO			16	
	CONEJOS (ANTES MELCHOR OCAMPO)	POZO	110	21	16	CONEJOS Y SAN ANTONIO
	CONEJOS	MANANTIAL			0.3	CONEJOS
	ATOTONILCO No. 1	POZO	200		25-30	CABECERA ATOTONILCO PARTE DE BOXFI Y BOVEDAS
	ATOTONILCO No. 2	POZO	200		25-30	CABECERA ATOTONILCO PARTE DE BOXFI Y BOVEDAS
	BOXFI	POZO	90	18	6	BOXFI

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1961

Tabla 46.- inventario de presas en la región de Tula.

SUBREGION	ZONA	ENTIDAD FEDERATIVA	DELEGACIÓN O MUNICIPIO	PRESA	CORRIENTE	CAPACIDADES (millones de m)				PROPOSITO	SUP. DE RIEGO (Ha)	
						TOTAL	UTIL	AZOVES	SUP. ALM			
TULA	A EL SALTO	MÉXICO	JILOTEPEC	EL COLEGIO	A SIN NOMBRE	0.47	0.41	0.01	0.05	RIEGO	96	
			DANXHO	DANXHO	R. COSCOMATE	31.04	30.6	0.4		RIEGO	4,985.0	
			SOYANIQUEPAN DE JUAREZ	LA GOLETA	A. GRANDE Y EL PAYE	2.95	2.39	0.1	0.46	RIEGO	400	
			SOYANIQUEPAN DE JUAREZ	MACUA	A. DE LA VEGA	5.65	4	0.25	1.4	RIEGO	600	
			CHAPA DE MOTA	PEÑA ALTA	A. PEÑA ALTA	4	2.85	0.15	1	RIEGO	348	
			JILOTEPEC	LOS QUELITES	A. EL QUELITE	1.59	1.09	0.04	0.46	RIEGO	135	
			JILOTEPEC	EL PROGRESO	A. SAN LORENZO	0.63	0.63			RIEGO	262	
			MORELOS	EL TIGRE	A. EL TIGRE Y PESCADO	0.85	0.8	0.05		RIEGO	175.5	
			MORELOS	EL TIGRE (D)	A. EL TIGRE Y PESCADO					RIEGO	0	
			CHAPA DE MOTA	LA CONCEPCION	A. LA BUFA	4.3	3.3	0.2	0.8	C. DE AVENDAS	600	
			SOYANIQUEPAN DE JUAREZ	EL ARCO	A. COLORADO	0.6	0.6			RIEGO	240	
	TOTAL						52.08	46.7	1.2	4.17		7,841.5
	HIDALGO	TULA DE ALLENDE	TULA DE ALLENDE	ENDHO	R. TULA	208	144	38	26	RIEGO	13,000.0	
				JULIAN VILLAGRAN	R. DE LA VEGA	2.4	1.9	0.1	0.4	RIEGO	238	
				TEPEJI DE OCAMPO	PEÑA ALTA	4	2.85	0.15	1	RIEGO	348	
				TEPEJI DE OCAMPO	REQUENA	81	50	10	10	RIEGO	6,500.0	
				CHAPATONGO	SAN JOSE EL MANQUEZ	A. EL TERRERO	3.6	2.6	0.6	0.4	RIEGO	358
				TEPEJI DE OCAMPO	TAXHIMAY	R. SIN LUIS DE LAS PERAS	50.6	42.8	6.59	1.26	RIEGO	2,100.0
				CHAPATONGO	RANCHO NUEVO	A. RANCHO NUEVO	1.12	1	0.12		RIEGO	250
				CHAPATONGO	EL RODEO	A. MALPASO	0.41	0.39	0.02		RIEGO	74
	TOTAL						351.1	245	56.58	39.06		22,868.0
TOTAL ZONA A EL SALTO						403.2	292	56.78	43.23		30,709.5	
B EL SALADO	HIDALGO	SAN AGUSTIN TLAXIACA	EL DURAZNO	R. TILCUATLA	2.6	2.3	0.3		RIEGO	269		
			EL DURAZNO (D)	R. TILCUATLA					RIEGO	269		
			AJACUBA	A. TENGUEDHO	0.75	0.5	0.25		RIEGO	160		
			ACTOPAN	A. SIN NOMBRE	0.25				RIEGO	0		
			ACTOPAN	EL NOGAL	0.27	0.23	0.04		RIEGO	49		
			AJACUBA	LA UNION	A. SIN NOMBRE	0.21	0.17	0.04		RIEGO	34	
			SAN AGUSTIN TLAXIACA	CHAPULTEPEC	A. SIN NOMBRE	0.39	0.32	0.07		RIEGO	62	
TOTAL						4.47	3.52	0.7			843	
TOTAL ZONA B EL SALADO						4.47	3.52	0.7			843	
C TASQUILLO	HIDALGO	ALFAJAYUCAN	JAVIER ROJO GOMEZ	R. ALFAJAYUCAN	50	32	4.5	13.5	RIEGO	11,600.0		
			VICENTE AGUIRRE	R. ALFAJAYUCAN	25	20.8	0.4	4	RIEGO	3,000.0		
			VICENTE AGUIRRE (D)	R. ALFAJAYUCAN					RIEGO	0		
			IXMIQUILPAN	DEBOOE	6.4	5.65	0.75		RIEGO	220		
			ALFAJAYUCAN	EL YATHE	1	0.52	0.15	0.33	RIEGO	630		
			ALFAJAYUCAN	MILPA GRANDE	A. DONGUINO	0.8	0.7	0.08		RIEGO	170	
			ALFAJAYUCAN	DOLORES	R. DOLORES					RIEGO	0	
			ALFAJAYUCAN	SAN MARCOS	A. SIN NOMBRE	0.24	0.22	0.02		RIEGO	42	
			SANTIAGO	EL PEJIAI	A. SIN NOMBRE	0.28	0.24	0.04		RIEGO	49	
			TOTAL						83.72	59.9	5.92	17.83
TOTAL ZONA C TASQUILLO						83.72	59.9	5.92	17.83		15,711.0	
						646.6	476	73.85	109.88		57,644.1	

CAPÍTULO 8

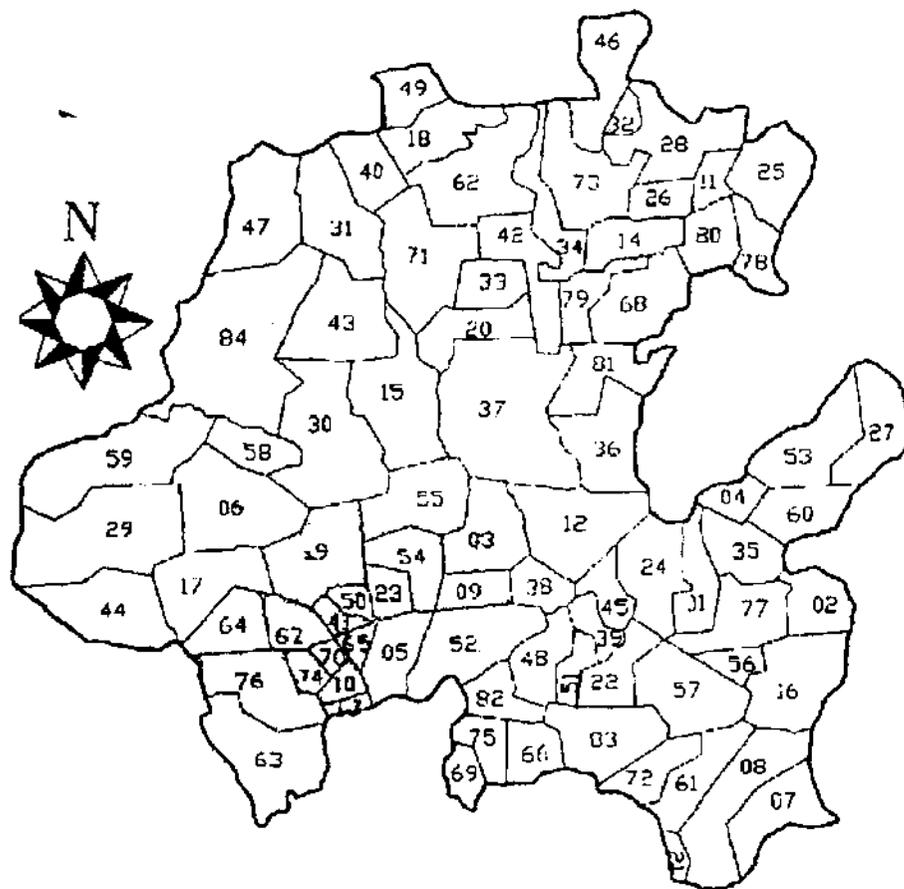


Figura 20
Municipios que conforman el Valle del Mezquital

Donde:

1 ACATLAN	22 EPAZOYUCAN	43 NICOLAS FLORES	64 TEPETITLAN
2 ACAXOCHITLAN	23 FRANCISCO I MADERO	44 NOPALA DE VILLAGRAN	65 TETEPANGO
3 ACTOPAN	24 HUASCA DE OCAMPO	45 OMITLAN DE JUAREZ	66 VILLA DE TEZONTEPEC
4 AGUA BLANCA	25 HUASTLA	46 ORIZATLAN	67 TEZONTEPEC DE ALDAMA
5 AJACUBA	26 HUAZALINGO	47 PACULA	68 TIANGUISTENGO
6 ALFAJAYUCAN	27 HUEHUETLA	48 PACHUCA	69 TIZAYUCA
7 ALMOLOYA	28 HUEJUTLA	49 PISAFLORES	70 TLAHUELILPAN
8 APAN	29 HUICHAPAN	50 PROGRESO	71 TLAHULTEPA
9 ARENAL, EL	30 IXMIQUILPAN	51 MINERAL DE LA REFORMA	72 TLANALAPA
10 ATITALAQUIA	31 JACALA	52 SAN AGUSTIN TLAXIACA	73 TLANCHINOL
11 ATLAPEXCO	32 JALTOCAN	53 SAN BARTOLO TUTOTEPEC	74 TLAXCOAPAN
12 ATOTONILCO EL GRANDE	33 JUAREZ HIDALGO	54 SAN SALVADOR	75 TOLCAYUCA
13 ATOTONILCO DE TULA	34 LOLOTLA	55 SANTIAGO DE ANAYA	76 TULA DE ALLENDE
14 CALNALI	35 METEPEC	56 SANTIAGO TULANTEPEC	77 TULANCINGO
15 CARDONAL	36 MEZQUITITLAN	57 SINGUILUCAN	78 XOCHIATIPAN
16 CUAUTEPEC	37 METZTITLAN	58 TASQUILLO	79 XOCHICOATLAN
17 CHAPANTONGO	38 MINERAL DEL CHICO	59 TECOZAUTLA	80 YAHUALICA
18 CHAPULHUACAN	39 MINERAL DEL MONTE	60 TENANGO DE DORIA	81 ZACULTIPAN DE ANGELES
19 CHILCUAUTLA	40 MISIONN, LA	61 TEPEAPULCO	82 ZAPOTLAN DE JUAREZ
20 ELOXOCHITLAN	41 MIXQUIAHUALA	62 TEPEHUACAN DE GUERRERO	83 ZEMPUALA
21 EMILIANO ZAPATA	42 MOLANGO	63 TEPEJI DE OCAMPO	84 ZIMAPAN

CAPÍTULO 8

El Valle del Mezquital forma parte de la meseta central y es considerado como una prolongación de las llanuras del Canadá, que se extiende por el oeste de los Estados Unidos y luego por México. En la figura 18, se muestra la localización del Valle del Mezquital y los municipios que lo forman.

Los tipos de rocas que predominan son de origen ígneo, sedimentario y en menor cantidad metamórficas. Las rocas ígneas son de tipo andesítico, decítico, riolitas y basaltos. Entre las rocas sedimentarias se encuentran las rocas hidroclásticas, pizarras, calizas, margas, conglomerados, brechas, aluviones y areniscas. Entre las rocas metamórficas se encuentran el mármol, las filitas y los esquistos, estas últimas en menor cantidad.

El clima que prevalece en el Valle del Mezquital es seco estepario, de los más secos, con un coeficiente de P/T de 14.1. se encuentra en los límites de los climas muy secos por presentar una temperatura media anual de 18 °C. La época de secas se presenta en invierno y verano.

Tiene suelos de pradera de montaña y Chesnut en una parte de Ixmiquilpan y el 75% son suelos de ladera, montaña y planicie. En este Valle, prevalecen los Entisoles y los subgrupos Arent Xerálfico, Xerorthent Lítico y Calcigeroll Arídico del orden Mollisol que corresponde éste último al Chesnut que ha sido muy reportado en la zona. Es fácilmente erosionable ya que en su mayoría descansan sobre tepetate fuertemente erosionado y laminar.

En el Valle se presenta un matorral de *Agave Stricta* en áreas limitadas sobre caliza. También existen varios tipos de encinar arbustivo, uno de ellos característicos de laderas de origen riolítico, en altitudes entre 2200 y 2300 msnm mide sólo de 20 a

CAPÍTULO 8

30 cm de altura y está constituido por *Quercus microphyla*. Otro tipo de encino, se encuentra a 3000 msnm igualmente sobre sustrato rocoso. Este es un matorral de tres metros de altura con dominancia de *Quercus alpeescens*. Además de ésta última lo componen especies arbustivas de *Agave*, *Amelanchier*, *Arbutus*, *Arcostaphylos*, *Baccharis*, *Bouvardia*, *Buddleia*, *Ceanothus*, *Dasyllirion*, *Eupatorium*, *Lamourouxia*, *Quercus*, *Salvia*, *Stevia*.

Sólo una quinta parte del Valle presenta buenas condiciones para la agricultura, por las condiciones topográficas de la zona. En las últimas décadas, las actividades agrícolas han ido en aumento con los sistemas de riego donde se han venido utilizando a gran escala las aguas negras de la Ciudad de México.

De las 41,549 hectáreas del distrito, 20,812 son ejidales y 20,737 corresponden a la pequeña propiedad, siendo un total de 25,247 usuarios de los cuales 18,015 son ejidatarios y 7,232 pequeños propietarios. Aproximadamente el 57 % de los usuarios tienen menos de una hectárea, el 21 % entre 1 y 2, el 17 % entre 2 y 5 y sólo el 5 % tiene más de 5 hectáreas.

Los cultivos principales de la zona son: alfalfa, maíz, cebada, trigo, chile, col, papas, frijol Copevi, jitomate, lechuga, haba, calabaza, cebolla, zanahoria, chícharo y algunos frutales, según información proporcionada por los ejidatarios del lugar. El 32.8 % de la producción corresponde al 85 % de las tierras cultivadas del estado de Hidalgo, ya que la mayor parte de las regiones planas y bajas se localizan en el Valle.

Del volumen de agua disponible, se calcula que el 80% proviene de las aguas negras de la zona metropolitana del Valle de México y un 20% se considera como agua potable de pozos. De este caudal, sólo el 70% es realmente aprovechado en su

CAPÍTULO 8

finalidad agrícola, ya que el resto se pierde esencialmente por los fenómenos de percolación y evapotranspiración.

En la época de estiaje, el riego se complementa con las aguas almacenadas en las presas de: Taxhimay con capacidad útil de 42 millones de m^3 ($1.33 m^3/s$); Requena con capacidad útil de 52 millones de m^3 ($1.65 m^3/s$); y Endho con capacidad de 138 millones de m^3 ($4.38 m^3/s$).

Las aguas residuales se reciben por el río Salado a través de los túneles de Tequixquiac y se aprovechan mediante las presas derivadoras de Tlamaco, El Tablón y La Virgen.

Estos recursos hidráulicos son suficientes para satisfacer las necesidades de riego, en cuanto al volumen disponible, sin embargo, por distintas causas, los regímenes de entrega no se ajustan a los calendarios de necesidades de las plantas, ya que en el estiaje que es la época en que las aportaciones del Río Salado son mínimas, la demanda de los cultivos es máxima y esta situación se refleja principalmente en el periodo comprendido del 15 de marzo al 15 de mayo.

Las aguas del Valle del Mezquital, actualmente son utilizadas para riego y para suministro a municipios de la localidad. En la tabla 46 se muestran las fuentes de abastecimiento por municipio y localidades a las que abastecen.

En la tabla 47 se muestran los sistemas del Valle, la localidad a la que abastecen, el gasto que suministran, el tipo de fuente donde es sacada el agua, la longitud de la línea de conducción, la capacidad y número de equipos de bombeo, así como el tratamiento de agua que se les aplica.

CAPÍTULO 8

Tabla 46.- Fuentes de abastecimiento para la zona del Valle del Mezquital

MUNICIPIOS	AGUAS SUBTERRANEAS POZOS Y NORIAS USO DOMESTICO	AGUAS SUPERFICIALES	
		MANANTIALES USO DOMESTICO	USO ABREVDENO Y DOMESTICO
ACTOPAN	13	3	0
AJACUBA	2	0	0
ALFAJAYUCAN	2	8	0
ARENAL	10	10	1
ATITAUQUIA	8	1	0
ATOTONILCO DE TULA	14	1	0
CARDONAL	3	15	27
CHUCUAUTLA	1	4	2
FRANCISCO MADERO	2	0	0
IXMIQUILPAN	7	22	6
MIXQUIAHUALA	0	1	3
PROGRESO	2	0	0
SAN SALVADOR	2	2	0
SANTIAGO DE ANAYA	4	7	0
TASQUILLO	3	12	3
TEPEJI DEL RIO	45	9	2
TETEPANGO	5	0	0
TEPETITLAN	4	1	0
TEZONTEPEC DE ALDAMA	2	5	3
TLAHUELLPAN	1	0	0
TLAXOCAPAN	4	0	0
TULA DE ALLENDE	28	0	0
TOTAL	162	101	47

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1996.

CAPÍTULO 8

Tabla 47.- Resumen del suministro de agua al Valle del Mezquital

NOMBRE DEL SISTEMA	MUNICIPIO QUE ABASTECE	HABITANTES	GASTO M ³ /S	FUENTE	LONG DE CONDU Km	CAPACIDAD Y # DE BOMBAS	TRATAMIENTO DEL AGUA
CERRO COLORADO	7	135000	0.2	MANANTIAL	36	GRAVEDAD	CLORACION
CERRO COLORADO HUITEL	23	35000	0.13	MANANTIAL	75	GRAVEDAD	CLORACION
CHAPANTONGO	7	15000	0.025	MANANTIAL	15	GRAVEDAD	CLORACION
JUCHITLAN BATHI	5	3000	0.040	POZO	20	150 HP (1)	CLORACION
MAGUEY BLANCO IXMIQUILPAN	2	21000	0.040	MANANTIAL	10	GRAVEDAD	CLORACION
PUEBLO NUEVO HUMEDADES	2	20000	0.025	MANANTIAL	7	GRAVEDAD	CLORACION
CAPULA	7	1000	0.024	POZO	18	100 HP (1)	CLORACION
BATHA Y BARRIOS	5	3000	0.050	POZO	6	150 HP (1)	CLORACION
SN FCO. BOJAY TULA	13	25000	0.060	POZO	9	100 HP (1)	CLORACION

Fuente Comisión Nacional del Agua, 1996.

CAPÍTULO 9

EL VALLE DEL MEZQUITAL, UNA NUEVA ALTERNATIVA

Una vez analizadas las características de la cuenca del río Tula, se analiza el proyecto de suministro propuesto. Para ello se presenta el perfil elaborado de la tubería supuesta así como su trayectoria. Con ello se calculó su costo de facturación energética por bombeo. Por último, se compara la calidad del agua de Tezontepec con la norma oficial de la secretaría de salud y se determina el esquema de potabilización necesario. Con ello se obtienen los costos de operación del mismo.

9.1. Descripción del proyecto.

Como se explicó en el capítulo uno del trabajo, se estima que para el año 2010, se requiera al norte de la ZMVM una demanda de casi $9 \text{ m}^3/\text{s}$ (2,800,000 habitantes), la cual no puede ser satisfecha por las fuentes actuales de suministro.

Por tal motivo, el proyecto consiste en traer $7 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua potable desde el municipio de Tezontepec en el Valle del Mezquital, Hgo. Estudios recientes del Instituto de Ingeniería han demostrado que ésta se puede extraer sin alterar la demanda de los pobladores y el riego de la zona. Dicho proyecto puede abastecer a 2,177,778 habitantes

Para traer el agua desde el Mezquital a Melchor Ocampo, se planteó una tubería que necesita recorrer 60.5 km de distancia con una longitud de tubería de 61.508 km.

CAPÍTULO 9

La tubería fue planteada con base en las siguientes consideraciones:

- Evitar comprar terrenos y aumentar el costo de inversión, por lo que se planteó paralela al río Salado y al Gran Canal del Desagüe.
- Evitar subir pendientes elevadas, para que el costo de bombeo sea menor junto con el de la inversión.
- Emplear terreno Federal, para no pagar indemnizaciones, reduciendo así, el costo de inversión.
- Ser la ruta más corta y viable para traer el agua al norte de la ZMVM.

9.2. Costo de bombeo.

Con base en lo mencionado en el capítulo dos, las bombas necesitan vencer una carga de 323 m^{12} , lo que corresponde a una potencia en el eje de 22,180.41 KW (29,733 HP). La potencia eléctrica requerida del equipo, considerando una eficiencia del 85 %, será de 26,094.6 KW (34,979.36 HP).

Como la potencia instalada corresponde a la tarifa H-M y se espera que trabaje el equipo las 24 horas del día, con una carga de $7 \text{ m}^3/\text{s}$, los costos de bombeo mensual y anual se pueden calcular mostrándose en la tabla 48.

¹² Es la carga total que corresponde a la suma de las cargas de: diferencia de alturas (250m), por accesorios (4.78 m considerando 21 codos) y la de pérdidas por fricción (68.1m). El valor mostrado está redondeado. El diámetro de la tubería de concreto considerado fue el de 2 m, valor usado en tuberías que manejan caudales similares.

CAPÍTULO 9

De la tabla 48 se puede ver que la potencia anual es de 228,592,200 KWH, que corresponderían a 156,027,892 pesos. Ya que manejaría un volumen anual de 220,752,000 m³, el costo de bombeo por cada metro cúbico de agua sería de 0.71 \$/m³.

Tabla 48.- Costos de 1998 para el proyecto.

MES	DIAS	M3/S PROM	M3/MES	TARIFA H-M	KWH	\$
ENERO	31	7.00	18748800	POMEDIO	19414680	
FEBRERO	28	7.00	16934400		17535840	
MARZO	31	7.00	18748800		19414680	
ABRIL	30	7.00	18144000		18788400	
MAYO	31	7.00	18748800		19414680	
JUNIO	30	7.00	18144000		18788400	
JULIO	31	7.00	18748800		19414680	
AGOSTO	31	7.00	18748800		19414680	
SEPTIEMBRE	30	7.00	18144000		18788400	
OCTUBRE	31	7.00	18748800		19414680	
NOVIEMBRE	30	7.00	18144000		18788400	
DICIEMBRE	31	7.00	18748800		19414680	
TOTAL	365	7.00	220752000	0.68256	228592200	156027892

9.3. Costo de la potabilización.

Para encontrar el esquema de potabilización requerido es necesario comparar las características del agua del municipio de Tezontepec con las de las normas, por lo que en la tabla 49 se muestra lo antes mencionado y en la tabla 50, se muestran las características del agua de Tezontepec, junto con muestras de febrero y junio.

CAPÍTULO 9

Tabla 49.- Características de las aguas de Tezontepec.

COMPONENTE	CANTIDAD	COMPONENTE	CANTIDAD	COMPONENTE	CANTIDAD	COMPONENTE	CANTIDAD
No. HIDALGO	1184	Mg mg/L	59	PO4 mg/L	0.117	Zn microg/L	<1,27
PH	7.2	HCO-3 mg/L	493	F mg/L	0.99	Cd µ/L	0.1
TEM °C	20.2	SO4 mg/L	185	Mn mg/L	<0,003	Sd µ/L	0.09
ODmg/L	2.7	Cl mg/L	185	Be µ/L	<0,2	Ba µ/L	
COND uS/cm	1711	NO3-N mg/L	9.9	Al µ/L	<0,5	Tl µ/L	<0,02
Na mg/L	191	NO2-N mg/L	<0,001	Cr µ/L	2.14	Pb µ/L	0.27
K mg/L	34	NH3-N mg/L	<0,001	Ni µ/L	2.16	SAAM mg/L	<0,001
Ca mg/L	82	o-PO4 mg/L	0.083	Cu µ/L	5.2		
		COL.FE c NMP/100mL	26			COL.TO † NMP/100mL	N

Muestra de febrero.

COMPONENTE	CANTIDAD	COMPONENTE	CANTIDAD	COMPONENTE	CANTIDAD	COMPONENTE	CANTIDAD
PH	7.36	F	0.89	Ni	2.58	Ce	<0,02
TEMP °C	20	Si	35	Cu	5.2	Pr	<0,002
O2	3.6	Sr	2.21	Zn	1.81	Nd	<0,004
SEC ps/cm	1720	Mn	<,003	Ga	<0,04	Eu	0.006
Na	205	Fe total	<,02	Ge	0.28	Sm	0.019
K	33.4	v	0.03	Rb	35.5	Eu	0.011
Ca	84	b	0.8	Y	<0,06	Gd	<0,003
Mg	63	Bal %	2	Zr	<0,24	Tb	<0,001
HCO3lab	570	Li	77.9	Mo	1.86	Dy	0.004
SO4	159	Be	<0,02	Cd	0.1	Ho	0.001
Cl	178	Al	3.59	Sb	0.05	Er	0.002
NO3 N	10	Cr	2.05	Cs	0.36	Tm	<0,002
P total	<,5	Co	0.34	Ba	89.8	Yb	0.003
U	13.3	Th	<0,065	La	<0,01	Lu	<0,002
Bi	<0,009	Pb	<0,24	Tl	0.01		

CAPÍTULO 9

Muestra de junio.

COMPONENTE	CANTIDAD	COMPONENTE	CANTIDAD	COMPONENTE	CANTIDAD	COMPONENTE	CANTIDAD
TEMP.	20	B	0.75	Ge	0.07	Tb	<0,05
PH	7.06	Fe total	<,02	Rb	27	Dy	<0,08
O2	2	F	0.99	Y	<0,30	Ho	<0,05
SEC	1710	P total	<,5	Zr	0.8	Er	<0,05
Na	191	V	0.04	Mo	3.07	Tm	<0,06
K	32.7	Li	56.9	Cd	<0,46	Yb	<0,05
Ca	79.2	Be	<0,30	Sb	0.11	Lu	<0,06
Mg	61	Al	<0,40	Cs	0.33	Tl	<0,02
HCO3	541	Cr	2.32	La	<0,07	Pb	0.77
SO4	160	Mn	<0,30	Ce	<0,04	Bi	<0,03
Cl	181	Co	0.2	Pr	<0,05	Th	<0,18
NO3 N	10	Ni	1.95	Nd	<0,06	U	21.1
Si	33.1	Cu	2.86	Sm	<0,05	Gd	<0,06
Sr	2.19	Zn	<0,48	Eu	<0,06	Ga	<0,10
Ba	0.079						

Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM, México 1998.

De las tablas anteriores, se puede observar que la norma es rebasada en los organismos coliformes fecales con un valor de 26 NMP/100mL.

Se ha detectado una gran concentración de sales en las aguas de Tezontepec (tabla 50), por lo que el Instituto de Ingeniería ha planteado instalar un proceso de nanofiltración y cloración.

El agua encontrada en Tezontepec, es cristalina por lo que sólo es necesario eliminar las sales por medio de nanofiltración, para después ser clorada.

CAPÍTULO 9

Tabla 50.- Comparación del agua de Tezontepec con las normas.

Parámetro	Unidad	Norma	Encontrado	Comentario	Efectos producidos
CT	NMP/7 mL	NOM127 =2 EPA, OMS Y CCE = 0	0 hasta <200		Gastrointestinales, salmonelosis y fiebre tifoidea
CF	NMP/7 mL	NOM127, EPA, OMS Y CCE = 0	0 hasta 29		Gastrointestinales, salmonelosis y fiebre tifoidea
Sabor		NOM 127 = agradable	Insípida		Estético
Mercurio	µg/L	OMS y CEE = 0.001	N.D. hasta 0.0018		Estético, neurológico y renal
Plomo	mg/L	NOM 127 = 0.025, EPA =0.015 OMS = 0.01 CEE = 0.05	N.D. hasta 0.0718	El índice de detección del aparato va desde 0.05 hasta 20 µg/L	Efectos neurológicos y anemia principalmente en infantes
Fluoruros	mg/L	NOM 127 = 1.5 EPA = 2-4	1.07 hasta 1.376		Enfermedades de los huesos y dientes moteados
Sodio	mg/L	NOM 127 = 200 CEE = 150	189.6 hasta 204		Estético, hipertensión, problemas renales y cardiovasculares
Dureza	mg CaCO ₃ /L	NOM 127 = 500 CEE = 60	441 hasta 447		Estético e incrustaciones
Nitratos	mg/L	NOM 127 = 0.07 EPA = 10 OMS Y CEE = 50	7.3 hasta 14		Enfermedad del niño azul (metahemoglobinemia)
Calcio	mg/L	CEE = 0	79.8 hasta 82.9		Problemas cardiovasculares y urinarios e incrustaciones
Magnesio	mg/L	CEE = 50	58.8 hasta 63.6		Estéticos, diarrea, sistema nervioso central e incrustaciones
Potasio	mg/L	CEE = 12 23.42 hasta 33.9			Vomito, nauseas y problemas renales
Boro	mg/L	OMS = 0.3 CEE = 0.0	0.685		Toxicidad aguda y crónica, problemas renales
Cloruros	µg/L	CEE = 0	170 hasta 184.3		Antiestético y corrosivo

CAPÍTULO 9

La nanofiltración rechaza la dureza, repele las bacterias y los virus y remueven el color asociado a los compuestos orgánicos sin generar compuestos químicos indeseables. Es muy eficaz en aguas con bajo contenido de sólidos disueltos.

La ultrafiltración es un proceso muy usado en la potabilización del agua, muy efectivo en la remoción de compuestos orgánicos y en la remoción de material particulado, microorganismos y coloides. Es una tecnología de uso cada vez más frecuente para potabilizar el agua.

9.4. Costo de inversión.

El costo de inversión se dividió en 4 etapas y se basan en el trabajo de la CNA "Costos estimados para proyectos de infraestructura hidráulica" y son:

- ✧ **Obras de captación:** para la captación mediante pozos con profundidad de hasta 250 m, se tiene un costo medio de 103 pesos por habitante abastecido, lo que equivale a un total de 224,311,134.00 pesos, para una población de 2,177,778 habitantes.
- ✧ **Líneas de conducción:** el costo de la tubería se basó en el tamaño de la población, la longitud y material de la tubería, así como su diámetro. Para el proyecto se tiene un costo medio de 13,058.94 pesos por cada kilómetro de tubería, por lo que, para un total de 62 kilómetros se tiene un costo de 809,654,280.00 pesos.
- ✧ **Regularización:** el costo de los tanques de concreto fue de 48 pesos por habitante, lo que equivale a 104,533,344.00 pesos para el proyecto.

CAPÍTULO 9

- ✧ **Potabilización:** para el costo de la infraestructura de potabilización se estima un costo medio de 18 pesos por habitante, lo que equivale a 39,200,004.00 pesos.

Basándose en lo anterior, se tiene un costo total de inversión de 1,177,698,762.00 pesos. Considerando un volumen anual de 220,752,000 m³ (VP=1,778,197,971 m³), una tasa del 12% y una vida útil de 30 años, se tiene un costo unitario de 0.66 \$/m³.

El proyecto también incluye tratar el agua negra a la salida de la Ciudad de México antes de enviarla a Tezontepec¹³, Valle del Mezquital, y poder controlar así su contaminación. Con la meta de obtener agua de muy buena calidad se probaron diferentes métodos de desinfección como cloración, ozonación y luz ultravioleta. La ozonación fue rápidamente descartada debido a su alto costo, ya que era necesario 17 mg de O₃ por cada litro de agua. La luz ultravioleta se probó de dos formas, como un proceso independiente y como un proceso ayudado por la cloración. La desinfección apoyada con cloro resultó ser más eficiente cumpliendo con los valores de la norma vigente. El costo de inversión y operación de éste sistema de desinfección resultó de 0.05 USD/m³, los cuales se tendrán que sumar al costo total encontrado de 1.27 \$/m³.

Tabla 51.- Costos del proyecto Tezontepec

BOMBEO \$/m ³	TRATAMIENTO \$/m ³	INVERSIÓN \$/m ³	TOTAL \$/m ³
0.71	0.36	0.76	2.49
28.5	14.5	30.5	100 %

¹³ Blanca Jiménez y Alma Chavez. 1999. "Tecnología de bajo costo para aprovechar confiablemente las aguas de la Ciudad de México en riego agrícola". Instituto de Ingeniería. UNAM.

CAPÍTULO 9

En resumen, se pretende enviar agua negra tratada (agua de segundo uso) proveniente de la Ciudad de México a Tezontepec, Valle del Mezquital, para ser utilizada en el riego de la zona y así poder controlar la contaminación del lugar. El agua infiltrada será desinfectada primeramente por las 22 hectáreas de tierra de uso agrícola y después por el sistema de nanofiltración y cloración, para ser enviada a la Ciudad de México como agua para consumo humano de muy buena calidad.

CAPÍTULO 10

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se mencionan las características de los diferentes sistemas de abastecimiento de agua contemplados en el trabajo, que las hacen ser diferentes unas de otras.

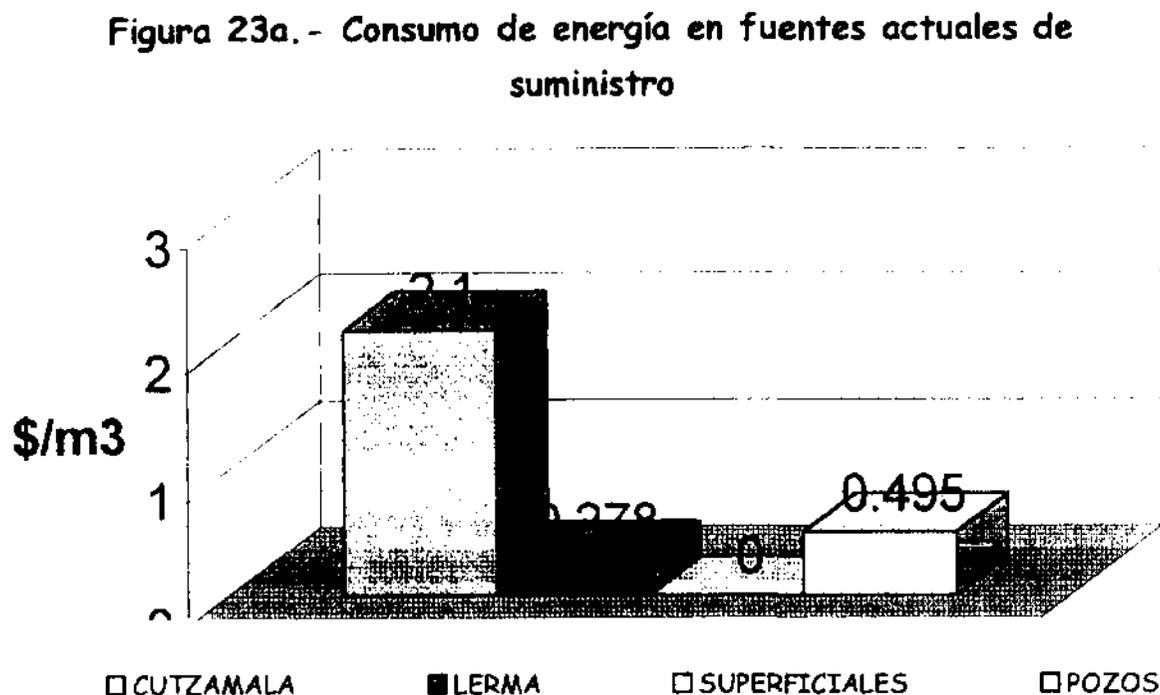
10.1. Método de comparación entre fuentes de abastecimiento

Para la comparación se puede dividir este capítulo en cuatro: el costo por consumo de energía eléctrica por bombeo, el costo por el proceso de potabilización, el costo total y el costo de inversión.

10.2. Comparación de los sistemas de abastecimiento de agua con base en el consumo de energía eléctrica por bombeo

Para visualizar las diferencias entre una fuente de abastecimiento de agua y otra se presenta la información en forma gráfica.

Fig. 23.- Consumo energético de fuentes de abastecimiento de agua.

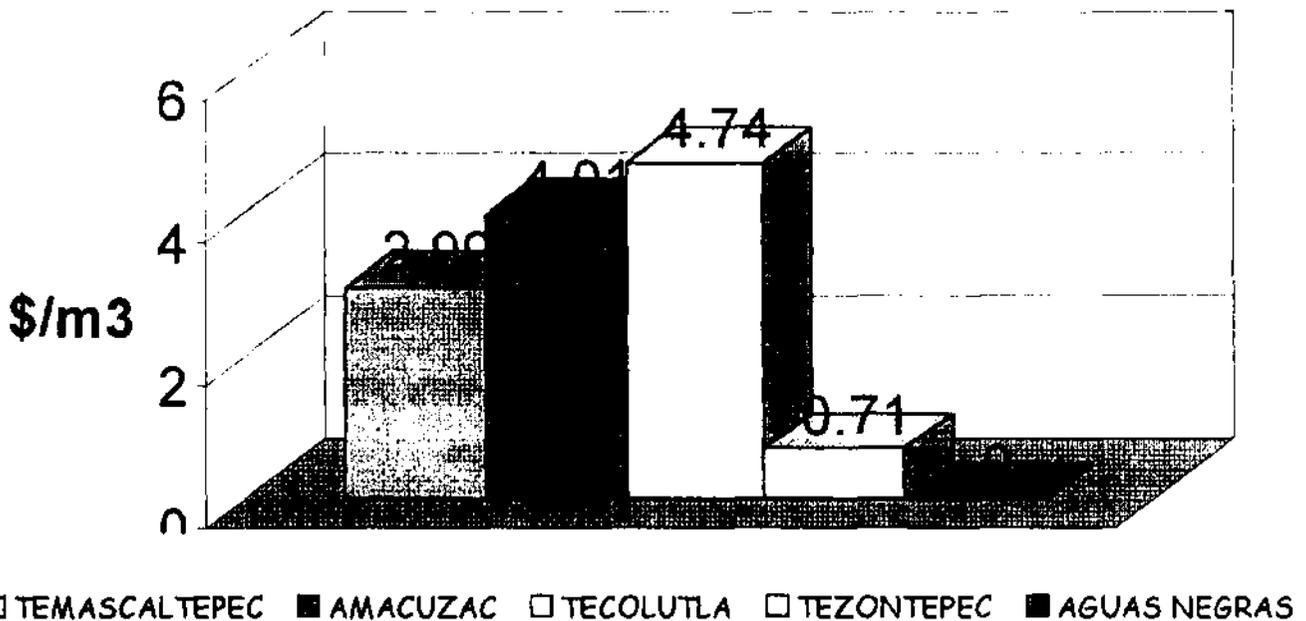


Como se observa en la figura 23a, el sistema Cutzamala es el sistema que actualmente demanda una mayor cantidad de energía, debido a la distancia que tiene que recorrer, desde la captación del agua hasta el tanque Pericos en Chapultepec. También se debe a que las siete presas de almacenamiento constantemente están bombeando agua, ya sea para enviarla al Valle de México o para trasladar el agua desde una presa de menor altitud hasta otra de mayor. Con esto se asegura la existencia de agua en todo el sistema. En los aprovechamientos superficiales el consumo de energía es despreciable, debido a que no es necesario transportar el agua grandes distancias como es el caso del Cutzamala o del Lerma, aunque este último es más económico que el Cutzamala debido a que gran parte del recorrido se realiza por gravedad y es menor el caudal manejado. Aun cuando los aprovechamientos subterráneos se encuentran dentro del Valle de México, como se observa en la figura

CAPÍTULO 10

23a, el consumo de energía si se debe tomar en cuenta debido a que las bombas que se emplean para extraer el líquido son de una potencia considerable.

Figura 23b.- Consumo de energía en fuentes futuras de suministro



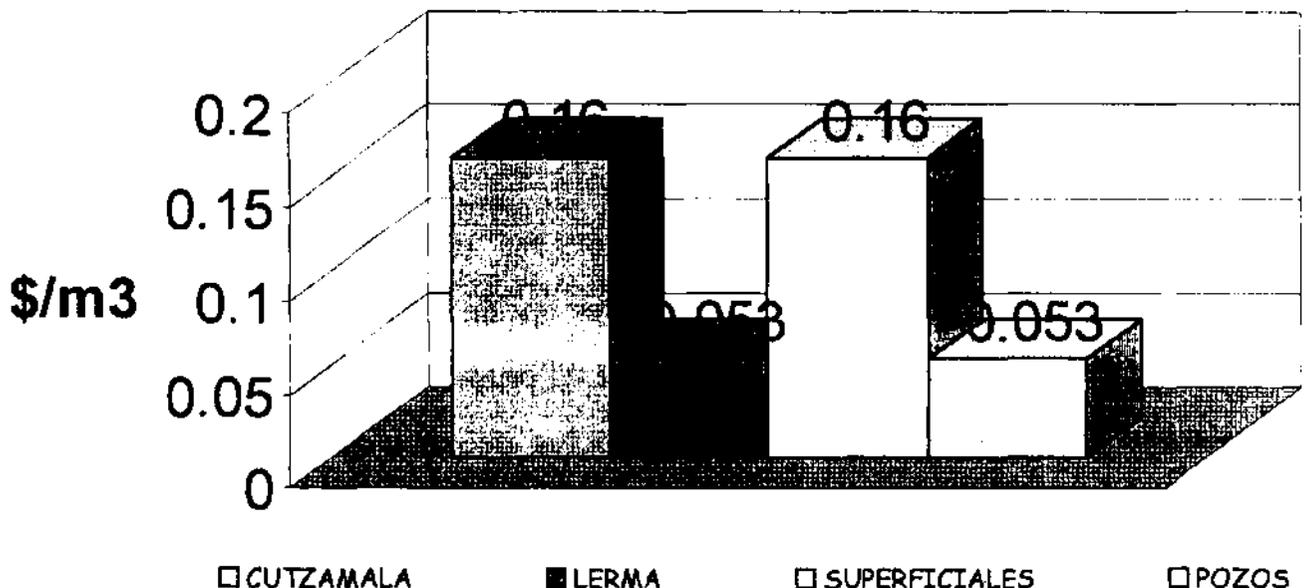
Para el Reúso de aguas negras el consumo de energía por bombeo es despreciable (Fig. 23b) pero no resulta la mejor opción debido al costo elevado del tratamiento de agua como se verá mas adelante. El proyecto en Tezontepec presenta un costo energético menor al resto de los proyectos, debido a que se encuentra a una menor distancia y la potencia de sus bombas son de menor capacidad para cubrir la carga demandada por el sistema. Si no afectara el proyecto Tecolutla I al sistema Necaxa, la alta carga que tendrá que vencer las bombas requeridas debido a la lejanía y altura del lugar, la coloca como el proyecto de mayor costo en consumo energético. El Amacuzac presenta un costo elevado debido a la afectación de 4 plantas. Por su bajo costo energético (Fig. 23b) el proyecto Temascaltepec se encuentra ya en construcción.

10.3. Comparación de los sistemas de abastecimiento de agua en base al costo de potabilización

Los equipos de potabilización empleados para los sistemas contemplados en el presente trabajo, emplean esquemas relativamente económicos con excepción del de tratamiento de aguas negras y el de Tezontepec. Véase figura 24.

Fig. 24.- Costo de potabilización de las diferentes fuentes de abastecimiento de agua.

Figura 24a.- Costo del proceso de desinfección en fuentes actuales de suministro

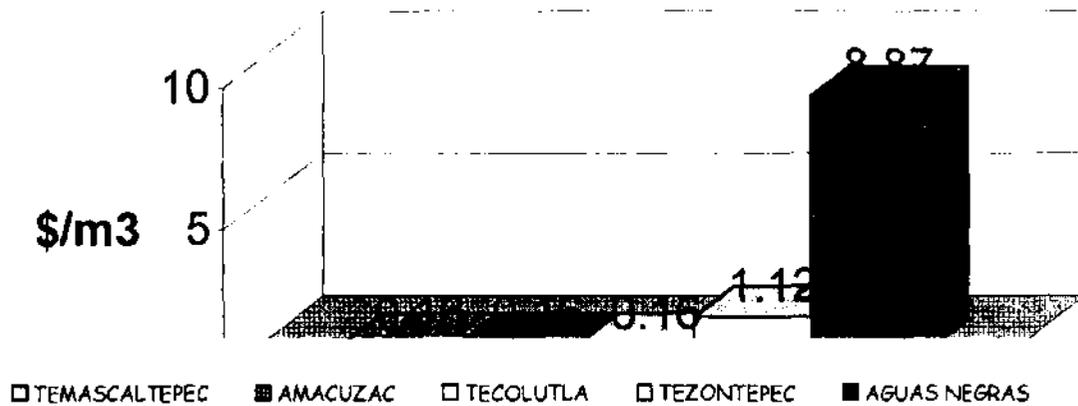


Como se observa en la figura 24a, el costo en los sistemas que recuperan agua del subsuelo es muy económico debido a que sólo se añade cloro para su desinfección. En el caso de los sistemas que captan el agua de ríos, lagos, etc., el proceso es más

CAPÍTULO 10

caro pero no deja de ser atractivo para ser considerado como proyectos futuros. El costo mas elevado se debe a que el proceso es más largo, pues no solo se añade cloro sino que también pasa por los procesos de filtración, floculación y sedimentación.

Figura 24b. - Costo del proceso de potabilización en fuentes futuras

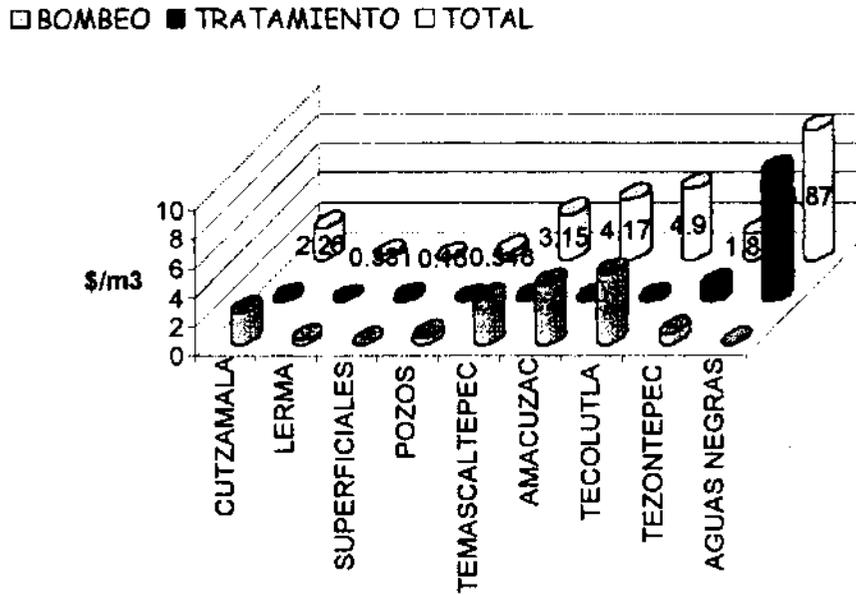


Como se mencionó en el punto 10.2, el costo de tratar agua negra para consumo humano es muy alto, como se puede ver en la figura 24b, debido a que el proceso es largo y complejo por los desechos que contienen las aguas negras. Los proyectos de Temascaltepec, Amacuzac y el Tecolutla I son económicos debido a que su proceso contempla filtración, floculación, sedimentación y cloración. El proyecto Tezontepec, aun cuando se tienen que aplicar dos procesos de desinfección, es decir tratar el agua negra para disminuir sus contaminantes con luz ultravioleta antes de descargarla en el Valle del Mezquital (esto junto con el tratamiento de filtración que recibe del suelo del Valle proporciona agua de mayor calidad) y un proceso de nanofiltración al agua de los pozos para eliminar las sales contenidas en ella, el costo es atractivo para ser considerada como una fuente futura de abastecimiento de agua.

10.4. Comparación de los sistemas de abastecimiento de agua presentes y futuros.

Juntando los dos costos antes vistos se puede llegar a las siguientes consideraciones.

Figura 25.- Costo por trasladar agua limpia al Valle de México

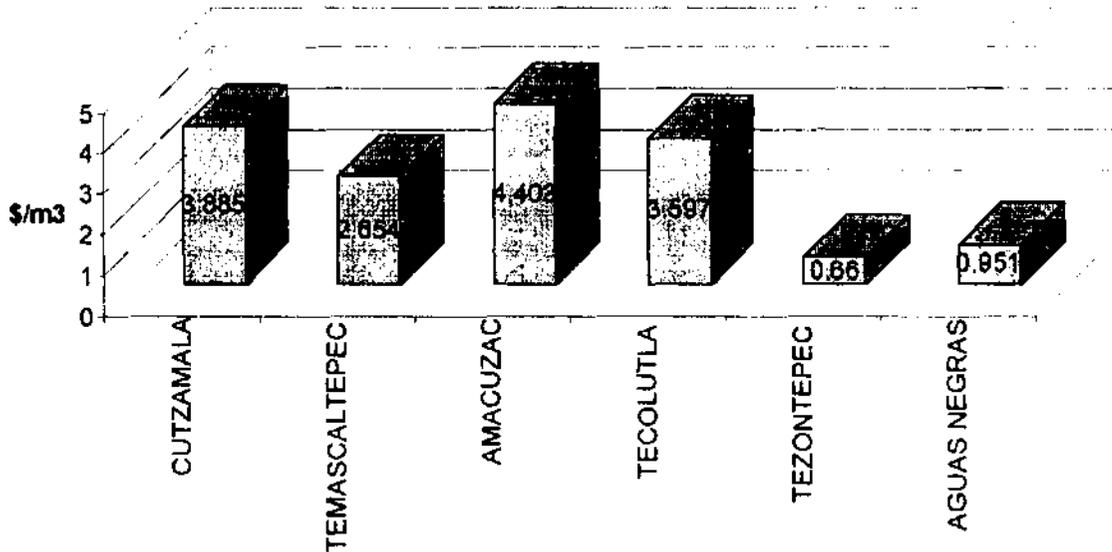


Como se observa en la figura 25, el Reúso de aguas negras es el proyecto más caro debido al proceso de tratamiento. Al comparar los proyectos se puede observar que el más económico es el de Tezontepec (Valle del Mezquital), mientras que el resto de los proyectos se encuentran casi al doble del costo, con excepción del Amacuzac.

10.5. Comparación de los sistemas de abastecimiento de agua involucrando los costos de inversión.

Las comparaciones anteriores no contemplaban el rubro de la inversión. Como no en todos los sistemas se pudo obtener el costo debido a la antigüedad de su construcción sólo se hablará de las presentadas en la figura 26.

Figura 26.- Costo de inversión en fuentes de abastecimiento de agua

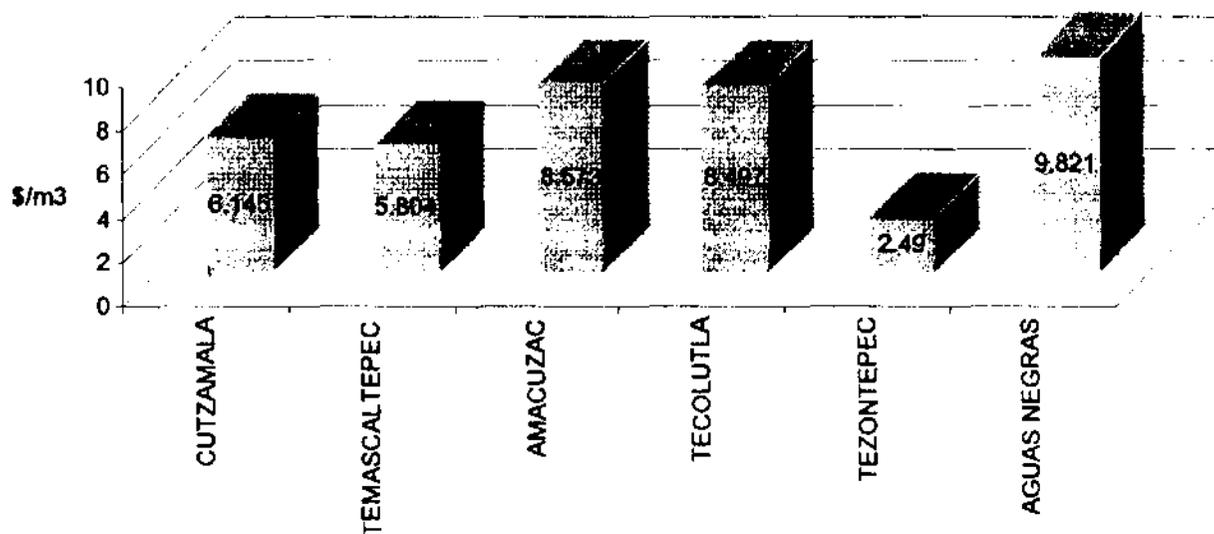


Como se ilustra, el Amacuzac es el proyecto que presenta el valor mas alto en cuanto a la inversión. Seguido del Tecolutla I. El Proyecto Tezontepec resulta ser el más económico seguido del Reúso de aguas negras.

10.6. Conclusión

Todo lo visto en este capítulo se resume en la figura 27

Figura 27.- Costo total por trasladar agua limpia al Valle de México



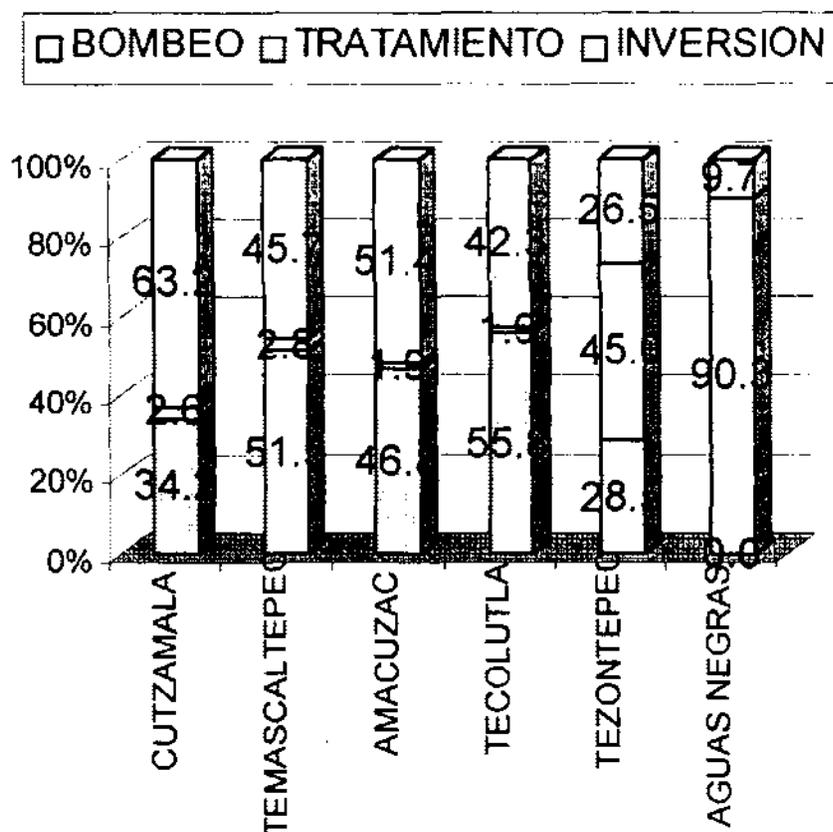
El Reúso de agua negra es el proyecto más caro de todas las fuentes posibles de abastecimiento de agua debido al proceso de potabilización. Los proyectos del Amacuzac y Tecolutla I son caros debido a la afectación en la energía al utilizar plantas de energía como el sistema Necaxa, además de que se necesita una potencia elevada para vencer las grandes cargas que se tienen. El costo del proyecto Temascaltepec es muy similar al Cutzamala debido a que a éste último se le tienen que hacer mejoras para abastecer al flujo de agua que suministrará el Temascaltepec.

CAPÍTULO 10

Ambos, emplean tecnología avanzada por lo que los costos se elevan. El proyecto en Tezontepec es el más económico de todos los esquemas que se han presentado en este trabajo, debido a que se necesita menor cantidad de energía para bombear el agua y además de que el sistema de potabilización resultó ser económico por la filtración que recibe del mismo suelo de donde es extraído.

En la figura 28 se puede observar cómo influyen los componentes del total de los costos involucrados en el trabajo.

Figura 28.- Distribución del total



CAPÍTULO 10

Como se observa, en la mayoría de los casos el costo de inversión es el que influye más dentro del costo total, seguido del costo por bombeo y por último el del tratamiento de agua.

El proyecto en Tezontepec es el que presenta mejor distribución entre sus componentes. En el Reúso de agua negra el costo mayor se debe al tratamiento.

Cabe hacer mención que los costos presentados en este trabajo no son todos los que se tienen que tomar en cuenta en la elaboración de un proyecto, pero son suficientes para establecer una comparación entre ellos.

CONCLUSIONES

La información presentada en esta tesis fue resumida en la tabla 52.

Tabla 52.- Resumen del Trabajo.

ESTADO	UBICACION	FUENTE	CAUDAL m ³ /S	INVERSION Millones de pesos	PROCESO	COSTO \$/m ³ BOMBEO	COSTO \$/m ³ TRATAMIENTO	COSTO \$/m ³ INVERSION ^A	COSTO \$/m ³ TOTAL
OPERANDO	EXTERNO	CUTZAMALA	14.5	14,250	1	2.10	0.160	3.885	6.145
		LERMA	4.9		1	0.278	0.053		
	INTERNO	SUPERFICIE	1.2		1	0	0.160		
		POZOS	43.4		2	0.495	0.053		
PROYECTOS	CNA	TEMASCALTEPEC	5	3,371.25	1	2.99	0.160	2.634	5.804
		AMACUZAC	13.5	15,098.22	1	4.01	0.160	4.403	8.571
		TECOLUTLA I	9.8	8,954.254	1	4.74	0.160	3.597	8.497
	UTRUS	AGUAS NEGRAS	7.4	2,422.015	4	0	8.87 ^B	0.931	9.821
	INSTITUTO	TEZONTEPEC	7	1,753.254	3	0.71	0.36 ^C + 0.76 ^D	0.660	2.49

1. Floculación, sedimentación, filtración y cloración.

2. Cloración.

3. Nanofiltración y cloración.

4. Tratamiento primario, secundario, terciario y cloración.

A Cálculo realizado con una tasa de descuento del 12 % anual y 30 años de vida útil.

B Costo aproximado de 0.905 USD/m³ por tratamiento biológico más los tratamientos del punto 4.

C Costo aproximado de 0.072 USD/m³ por desinfección con luz ultravioleta y 0.05 \$/m³ por cloración.

D Costo aproximado de 0.031 USD/m³ por desinfección con nanofiltración y 0.05 \$/m³ por cloración.

Tipo de cambio de 9.80 pesos por dólar.

Como se observa, la opción de potabilizar el agua que recarga el acuífero del Mezquital es viable en cuanto al consumo de energía por el sistema de bombeo, ya que esta tiene un menor costo que la de los otros proyectos planteados, con excepción del sistema Lerma y del reúso de aguas negras de la propia ciudad.

En lo referente al costo de la potabilización, éste es mayor al resto de las alternativas con excepción del reúso de aguas negras, pero no es un valor muy superior, por lo que al contemplar la totalidad de los costos continúa siendo factible.

CONCLUSIONES

En cuanto el costo de inversión éste resulta muy bajo, aunque en el cálculo no se toma en cuenta las condiciones de préstamo del capital. Que afectaría de manera similar a todas las opciones.

Al juntar los costos de facturación energética, potabilización e inversión, se tiene que el costo del proyecto Tezontepec es la opción más económica, por lo que es una alternativa digna de tomarse en cuenta en un futuro.

El costo energético del proyecto Tezontepec resultó menor costo debido a la cercanía al Valle de México, pues no se tiene que levantar el agua a una carga muy alta y el costo de inversión por bombeo, en consecuencia, es bajo. Además, la tecnología empleada en la potabilización del agua consiste de una menor cantidad de procesos y permite continuar con el riego de 80 000 hectáreas en el Mezquital, lo que ya no se podría realizar si se potabiliza directamente el agua negra con el descontento de los agricultores de la región.

Basándose en lo anterior, se puede concluir que el proyecto Tezontepec es una alternativa factible para el suministro del agua a la ZMVM, especialmente conveniente para el suministro a la zona nor - oriente (de mayor crecimiento en el futuro), podría abastecer al 78 % de 2,800,000 habitantes esperados en el área. Además considera el control de la contaminación del Valle del Mezquital por las aguas negras.

Cabe hacer mención que el presente trabajo sólo toma en cuenta tres aspectos: inversión, operación y bombeo, por lo que otros trabajos deben analizar con más detalles, el costo social, el impacto ambiental, etc.

APÉNDICE 1

CÁLCULO DE LA TARIFA ELÉCTRICA EQUIVALENTE PARA 1998

Para encontrar estos valores, primero se necesita conocer las tarifas eléctricas promedio anual en el que los precios de los combustibles no resultaran tan bajos, en este caso 1997. Dichas tarifas se presentan en la tabla 53.

Es necesario conocer cómo varió la inflación promedio anual entre 1997 y 1998 para afectar las tarifas del 1997 y encontrar así la tarifa promedio anual de 1998, dichos valores se presentan en la tabla 54.

Tabla 54. - Índices de precios al consumidor.

MES	1996	1997	1998
ENERO	162.556	205.541	236.931
FEBRERO	166.350	208.995	241.079
MARZO	170.012	211.596	243.903
ABRIL	174.845	213.882	246.185
MAYO	178.032	215.834	248.146
JUNIO	180.931	217.749	251.079
JULIO	183.503	219.646	253.500
AGOSTO	185.942	221.599	255.937
SEPTIEMBRE	188.915	224.359	260.088
OCTUBRE	191.273	226.152	263.815
NOVIEMBRE	194.171	228.682	268.487
DICIEMBRE	200.388	231.886	275.038
PROMEDIO ANUAL	181.409	218.826	253.682

Fuente: Banco de México. Indicadores económicos. Dirección general de investigación económica. México, octubre de 1999.

TABLA 53.- TARIFAS PROMEDIO ANUAL DE 1997

MES	DIAS	TARIFA 6		TARIFA O-M			TARIFA H - M						
		CONSUMO		CONSUMO	CONSUMO	CONSUMO							
		BASE \$/KWH	DEMANDA \$/KWH MES	DEMANDA \$/KWH	BASE \$/KWH	TOTAL \$/KWH	DEMANDA \$/KWH MES	DEMANDA \$/KWH	PUNTA \$/KWH	INTERMEDIA \$/KWH	BASE \$/KWH	PROM \$/KWH	TOTAL \$/KWH
DICIEMBRE	31	0.42360	39.95	0.05370	0.29866	0.35236	41.399	0.05564	0.78189	0.2502	0.20897	0.482598	0.53824
ENERO	31	0.42868	42.878	0.05763	0.32055	0.37818	44.434	0.05972	0.8393	0.26854	0.22429	0.518016	0.57774
FEBRERO	28	0.43382	44.597	0.06636	0.33340	0.39976	46.216	0.06877	0.87296	0.27931	0.23328	0.538791	0.60756
MARZO	31	0.43903	43.834	0.05892	0.32770	0.38662	45.426	0.06106	0.85803	0.27453	0.22929	0.529575	0.59063
ABRIL	30	0.44430	42.756	0.05938	0.31964	0.37902	44.309	0.06154	0.83693	0.26778	0.22365	0.516552	0.57809
MAYO	31	0.44963	41.546	0.05584	0.31059	0.36643	43.055	0.05787	0.81324	0.2602	0.21732	0.504549	0.56242
JUNIO	30	0.45503	42.678	0.05927	0.31904	0.37831	44.226	0.06143	0.83536	0.26728	0.22323	0.518274	0.57970
JULIO	31	0.46049	43.419	0.05836	0.32459	0.38295	44.996	0.06048	0.8499	0.27193	0.22711	0.527294	0.58777
AGOSTO	31	0.46502	43.788	0.05885	0.32735	0.38620	45.378	0.06099	0.85712	0.27424	0.22904	0.531773	0.59277
SEPTIEMBRE	30	0.47161	43.911	0.06099	0.32827	0.38926	45.505	0.06320	0.85952	0.27501	0.22968	0.533263	0.59646
OCTUBRE	31	0.47727	44.956	0.06042	0.33608	0.39650	46.588	0.06262	0.87998	0.28156	0.23515	0.545959	0.60658
NOVIEMBRE	30	0.48300	46.192	0.06416	0.34532	0.40948	47.869	0.06648	0.90418	0.2893	0.24162	0.558060	0.62454
PROM ANUAL	30	0.45271	43.37525	0.05949	0.32427	0.38376	44.95008	0.06165	0.84903	0.27168	0.22689	0.52539	0.58704

	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
L A V	0.250	0.583	0.167
SAP	0.333	0.583	0.083
D Y FES	0.750	0.250	0.000
PROM	0.444	0.472	0.093

NOVIEMBRE A ABRIL

	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
L A V	0.250	0.667	0.083
SAP	0.292	0.708	0.000
D Y FES	0.792	0.208	0.000
PROM	0.444	0.528	0.028

MAYO A OCTUBRE

TARIFAS PROMEDIO ANUAL DE 1997

6	O-M	H-M
0.45271	0.38376	0.58704

APÉNDICE

El valor de la inflación promedio anual resultante es del 15.93% y fue resultado de dividir el índice de precios al consumidor promedio anual del 1998 entre el del 1997

Por lo tanto las tarifas equivalentes para 1998 son:

TARIFA 1998	6	O-M	H-M
PROMEDIO ANUAL	0.52483	0.44490	0.68056

APÉNDICE 2

EFFECTOS PRODUCIDOS POR LOS COMPUESTOS DEL AGUA

En los casos donde el agua es responsable de la *Metahemoglobinemia* (niños azules), se ha encontrado nitratos en una concentración mayor a las 10 ppm, agua comúnmente proveniente del subsuelo.

El plomo se halla a veces en las aguas que han estado en contacto con tuberías de este metal. Como el plomo es un veneno acumulativo, el consumo habitual de estas aguas puede dar lugar a envenenamiento. Esto puede ocurrir en las aguas que contienen más de 0.3 a 0.5 ppm de plomo.

Cuando se hallan presentes cantidades superiores de 1.5 ppm y especialmente de más de 3.0 ppm como flúor, y si esta agua se consume durante el periodo de formación de la dentición permanente, tiene lugar una combinación química que destruye el esmalte de los dientes y da como resultado una dentadura descolorida y moteada.

Los minerales como el cloruro sódico, sal común, da origen a un sabor que se percibe cuando se presenta en cantidades mayores de 200 ppm, y el agua prácticamente no se podrá beber si el contenido es de 3000 ppm. Tanto el sulfato de magnesio (sal de Epsom) como el sulfato sódico (sal de Glauber) si se presentan en grandes cantidades, de 500 ppm o más, tendrán efecto laxante.

APÉNDICE

La presencia de hierro y magnesio en el agua produce dureza. En muy pocas cantidades, del orden de 0.3 ppm y más, produce sabor y mancha los tejidos y cañerías de plomo dando origen a incrustaciones en las tuberías de agua.

La turbiedad es objetable por su apariencia y también por que las sustancias que la producen crean problemas en el lavado de ropa, en la fabricación de hielo y refrescos o en otros usos.

El arsénico o el cromo, pueden ser tóxicas. El arsénico a largo plazo es carcinógeno y mutagénico, puede provocar fatiga y falta de energía, dermatitis. El cromo es carcinógeno y corrosivo para los tejidos, pueden provocar daños a los riñones y sensibilidad en la piel.

El mercurio es altamente tóxico por adsorción cutánea y por inhalación de polvo o vapor. A largo plazo es tóxico para el sistema nervioso central y puede causar defectos en los recién nacidos.

Las aguas que contienen bacterias patógenas producen enfermedades.

BIBLIOGRAFÍA

Textos consultados.

Banco de México. "Indicadores económicos". Dirección general de investigación económica. México, Octubre de 1999. Sección III-I.

Banobras. "Federalismo y desarrollo". Premio Banobras 1995. México, Número especial, Diciembre de 1996. Pág. 63 - 68.

Blanca Jiménez y Alma Chavez. "Tecnología de bajo costo para aprovechar confiablemente las aguas de la Ciudad de México en riego agrícola". Instituto de Ingeniería. UNAM. México, 1999.

Blanca. J. Cisneros, H. Garduño and R. Dominguéz. "Water availability en Mexico considering quantity, quality and uses". Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1998.

Blanca Jiménez, Alma Chavez y Capella A. "Advanced primary treatment of wastewater from the Valley of Mexico reused for crop irrigation. The 70th annual conference and exposition. Vol, 7. Part 2, session 32, pp 311-320, ISBN-1-57278-111-3. Chicago Illinois, USA October, pág 18-22, 1997.

Claudio Mataix. "Teoría y problemas de Mecánica de fluidos y mecánica hidráulicas". McGraw-Hill, México 1969. 273 pp.

Comisión Federal de Electricidad. "Contribución de la CFE a la solución del problema de abastecimiento de agua a la Ciudad de México". México, noviembre de 1952. Capítulos III y IV.

BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua. "Sistema Cutzamala, agua para millones de mexicanos". SEMARNAP. Editado por la Gerencia Regional de Agua en el Valle de México. México, diciembre de 1997. 48 pp.

Comisión Nacional del Agua. "Factibilidad del proyecto integral para el abastecimiento de agua potable a la zona metropolitana del Valle de México". Gerencia del proyecto de abastecimiento de agua potable a la zona metropolitana del Valle de México. Grupo de ingeniería en consultoría y obras, S. A. de C. V. México, 1997.

Comisión Nacional del Agua. "Costos estimados para proyectos de infraestructura hidráulica". Subdirección General de Programación, Gerencia de Estudios para el Desarrollo Hidráulico Integral. México, 1998.

Comisión Nacional del Agua. "Abastecimiento de agua potable al área urbana continua de la Ciudad de México". (cronología de los estudios realizados). México, diciembre de 1971. Capítulo IX.

Departamento del Distrito Federal. "Sistema Hidráulico del Distrito Federal, un servicio público en transición". México 1982.

Departamento de sanidad. "Manual de tratamiento de aguas negras". Limusa - Wiley, México 1964, 303 pp.

"Diario Oficial". Publicado en México el jueves 18 de enero de 1996, primera sección.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, "Manual de operación del Sistema Lerma de agua potable". Departamento del Distrito Federal, Secretaría de obras y servicios. Volumen 1. México, septiembre de 1982.

BIBLIOGRAFÍA

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, "Manual de operación del Sistema Lerma de agua potable". Departamento del Distrito Federal, Secretaría de obras y servicios. Volumen 2. México, septiembre de 1982.

Ernesto Domínguez Mora y Hugo Parra Tabla. "Reúso del agua como un complemento de la oferta en el Valle de México". Revista Ingeniería civil No. 355. México, Noviembre de 1998.

Gerencia Regional de Agua en el Valle de México. "Diagnóstico de la región XIII, Valle de México, informe final". Tomo 1. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de programación. México, septiembre de 1997, capítulo II.

Gerencia Regional de Agua en el Valle de México. "Diagnóstico de la región XIII, Valle de México, informe final". Tomo 2. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de programación. México, septiembre de 1997, capítulo V.

Gerencia Regional de Agua en el Valle de México. "Plan maestro de drenaje de la Zona Metropolitana del Valle de México. 1994-2010". Comisión Nacional del Agua. México, 1994.

Gerencia Regional de Agua en el Valle de México. "Programa de abastecimiento de agua y saneamiento para la Zona Metropolitana del Valle de México". Comisión Nacional del Agua. México, 1994.

Giles U. R. "Mecánica de los fluidos e hidráulica". Harper & Row. New York 1970. 582 pp.

Secretaría de Obras y Servicios. "Compendio DGCOH 1995 y 1996". Dirección General De Construcción Hidráulica. México, 1997.

BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Recursos Hidráulicos. "Estudios demográficos y demanda de agua en la cuenca del Valle de México". Comisión Hidrológica de la cuenca del Valle de México. México, noviembre de 1968. 53 pp.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. "Proyectos de bombeo". Plan Nacional para obras de riego para el desarrollo rural. México, enero de 1974. Capítulos I, II y III. 206 pp.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. "Los acuíferos del Alto Lerma". Comisión Hidrológica de la cuenca del Valle de México. México, octubre de 1970. Capítulos I y II.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. "Posibilidades de abastecimiento de agua en el Valle del Mezquital, estado de Hidalgo". Tomo 1. Comisión Hidrológica de la cuenca del Valle de México. México, mayo de 1961. 102 pp.

Susumu Kawamura. "Integrated design of water treatment facilities". Wiley. E. U. 1981. 658 pp.

Entrevistas

Ing. Francisco Gómez Cárdenas

Subgerente de Programación y Presupuesto.

Gerencia Regional de Agua del Valle de México. GRAVAMEX

Ing. Javier Cuadra Moreno

Subgerente de Plantas de Tratamientos.

Gerencia Regional de Agua del Valle de México. GRAVAMEX

Ing. Javier Belaunzarán García.

Coordinador adjunto.

Comisión Nacional del Agua.

BIBLIOGRAFÍA

Ing. Romualdo Bautista Lucio

Jefe de la unidad departamental y control y evaluación de la dirección técnica. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. DDF.

Ing. Juan Martínez Jiménez.

Subgerente de calidad del agua.

Comisión Nacional del Agua

Páginas en Internet.

<http://sunburn.uwaterloo.ca/~lfleonvi/artics/art09.html>

<http://sgaa.cna.gob.mx/index.htm>

<http://www.semarnap.gob.mx>

<http://lanic.utexas.edu/la/mexico/water/libro.html>

<http://www.lanic.utexas.edu/la/Mexico/water/ch4esp.html>

<http://www.conae.gob.mx>.

<http://www.cfe.gob.mx>.