

¿El agua del valle del Mezquital, fuente de abastecimiento para el Valle de México?

Rosalino Pérez, Rocío Jiménez, Blanca E. Jiménez y Alma Chávez
Instituto de Ingeniería de la UNAM, Circuito Escolar S/N, Ciudad Universitaria
04510, México, D.F., Tel. 56 22 33 44

RESUMEN:

En la Ciudad de México uno de los principales retos que preocupa a la ciudadanía en general es como garantizar las necesidades de 19 m³/s de agua potable que deberán ser abastecidos a la población en los próximos quince años. Una de las alternativas que se proyecta es retornar el agua que proviene de las recargas artificiales del Acuífero del Valle del Mezquital, AVM (25 m³/s). Debido a que este acuífero se abastece de las infiltraciones del riego de un agua residual sin tratamiento (drenaje del Valle de México) se podría pensar que existe un alto riesgo para reciclar el agua infiltrada, sin embargo basados en los resultados sobre la calidad del agua que se encuentra en los pozos localizados en el AVM de donde fueron analizados un total de 276 parámetros que corresponden a la normatividad mexicana (NOM-127-SSA1-1994) y a los criterios de la USEPA (1996), CEE (1990) y OMS (1993), se encontró que para poder realizar este reúso es necesario que al agua se le realice un tratamiento avanzado que elimine ó permita reducir los coliformes fecales y totales (0 y 2 NMP/100 mL), los nitratos (10 mg N-NO₃ /L), el nitrógeno amoniacal (0.5 mg N-NH₄/L), así como mercurio (0.001 mg/L), plomo (0.025 mg/L), sodio (200 mg/L) y sólidos disueltos totales (1000 mg/L). El estudio geohidrológico determinó que de esta zona se pueden disponer de 6 m³/s (en una primera etapa).

INTRODUCCIÓN

Abastecimiento del Valle de México

El abastecimiento de agua potable en el Valle de México es de aproximadamente 62 m³/s, 67% del subsuelo, 21% del sistema Cutzamala, 10% del Lerma y 2% de aprovechamientos superficiales (Jiménez, 1999). La Ciudad de México para satisfacer las demandas futuras deberá enfrentar retos importantes, como el analizar si sobreexplota su acuífero, lo que ocasionara un abatimiento de los niveles freáticos debido a que se extraera 50% más de la recarga natural (Cruickshank, 1997).

Aunado a esto se tendrá que construir progresivamente una gigantesca y menos vulnerable infraestructura tanto para traer el agua como para desalojarla; inversión y costo de operación que cada día es más alto, así como detener el crecimiento de la mancha urbana sobre las áreas de recarga natural (en promedio se pierden 170 litros de recarga anual, CMIC,1998). Además de garantizar el suministro futuro para la Ciudad que tendrá que recibir en los próximos 15 años un mínimo de 19 m³/s adicionales (Fernández *et al.*, 1994). Retos a los cuales tendrá que dar solución.

Alternativa de Abastecimiento para el Valle de México.

Desde el inicio del siglo, el agua residual del Valle de México es enviada al valle del Mezquital, donde se usa para el riego, ya que la precipitación promedio de la zona es escasa (450mm) y la evapotranspiración elevada (1750mm). Adicionalmente, debido a la elevada salinidad del suelo del valle del Mezquital así como por el aporte a los terrenos agrícolas de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, los agricultores emplean elevadas láminas de riego (superiores a 1 m), lo que ha originado una recarga artificial del acuífero en una cantidad que se estima del orden de 25 m³/s (BGS,1998). Esta recarga podría ser aprovechada nuevamente en el Valle de México como abastecimiento. De hecho, esta agua se emplea ya para consumo humano por los habitantes del valle del Mezquital.

La preocupación por su calidad originó que el Instituto de Ingeniería realizase un estudio sobre ella. Sorpresivamente, los resultados preliminares indicaron que, a pesar de provenir de la infiltración del agua negra sin tratamiento alguno del Valle de México, esta agua es de buena calidad y, así ante la cantidad disponible (25 m³/s) y la calidad apropiada (Jiménez,1995), se planteó la idea de efectuar un estudio detallado para evaluar el empleo del acuífero del valle del Mezquital como fuente de abastecimiento para la Ciudad de México. Explorar esta viabilidad mediante una caracterización exhaustiva del agua así como analizar sus necesidades de potabilización fue el propósito de esta investigación.

ANTECEDENTES

El valle del Mezquital se localiza en la parte suroccidental del estado de Hidalgo, al norte del Valle de México. En 1990, la zona contaba con una población de 378,500 habitantes distribuidos en 15 municipios y 294 localidades. La industria y la agricultura son las principales actividades económicas.

El crecimiento del área urbana del Valle de México y la local incrementaron el volumen de agua disponible para riego. La consecuencia de esta evolución es la abundante alimentación que cambió de los 60 Mm³/año originales (1896) a los 800 Mm³/año en la actualidad (Cruickshank,1999). Existen en la zona alrededor de 300 aprovechamientos subterráneos de los que 206 son pozos profundos y los demás norias o manantiales. Con una capacidad que varía entre 10 – 40 L/s.

De acuerdo con estudios recientes se indica la posibilidad de extraer de 6 -10 m³/s del valle (Cruickshank,1999), sin embargo, se considera, que se debe actuar con cautela en la explotación ya que el cambio en las condiciones geohidrológicas puede tener consecuencias secundarias no previstas. Por lo que se recomienda una explotación gradual para ir conociendo las respuestas del acuífero.

METODOLOGIA

Sitios de muestreo del acuífero del valle del Mezquital.

De acuerdo con Cruickshank,1999 los sitios muestreados se ubican en las áreas de la planicie con problemas de drenaje, como son, aquéllas en las que los niveles piezométricos son muy someros e incluso que comúnmente están anegadas. Además, se consideró captar los pozos alimentados con agua que proviene del filtrado de las aguas residuales después de riego son los adecuados para evitar, tomar agua proveniente de la recarga natural. Se seleccionaron dos sitios de los principales acuíferos con condiciones de ser explotados en cuanto a cantidad de agua disponible. Los cuales son el Pozo Teocalco y Tezontepec; y se presentan en la Figura 1.

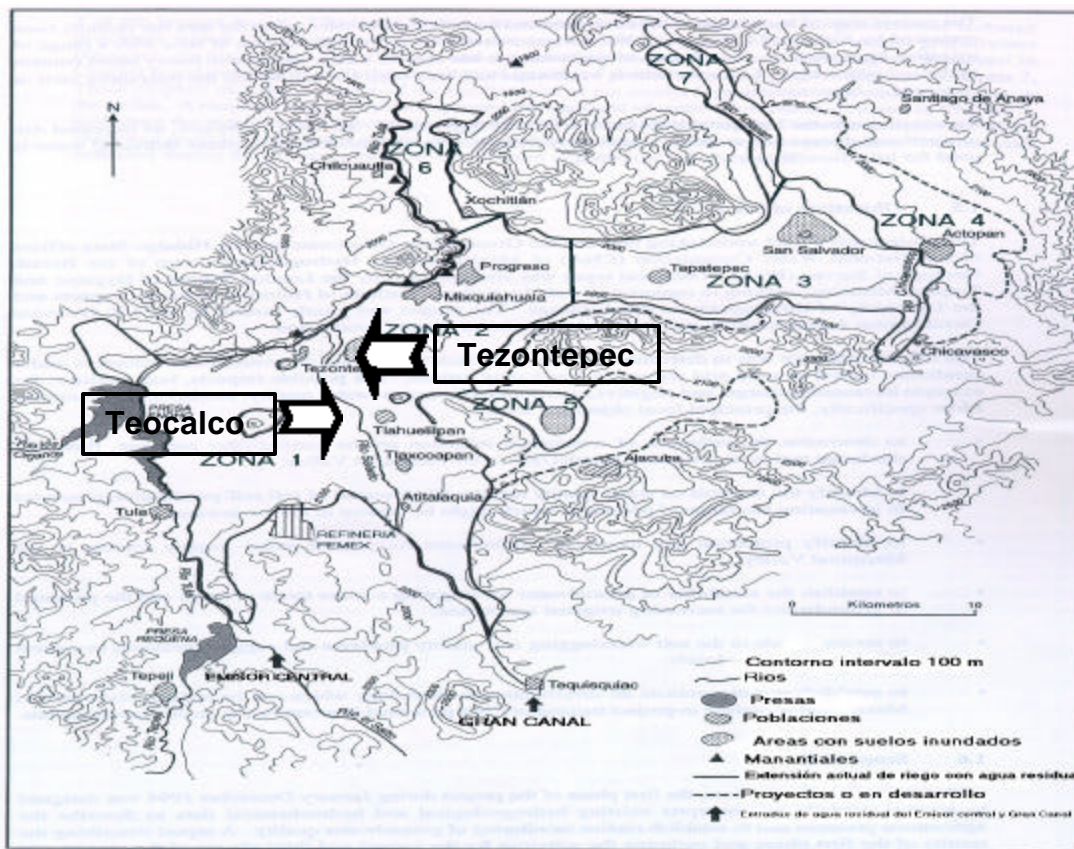


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo en el valle del Mezquital

Caracterización de la calidad del agua del acuífero del valle del Mezquital

Para determinar la calidad del acuífero del valle del Mezquital se siguieron diversos escenarios los cuales fueron:

- ☞ Comparar los resultados de calidad contra la normatividad existente para este tipo de agua y,
- ☞ Analizar la calidad de acuerdo con modelos establecidos

Normas y criterios de para determinar la calidad de agua

Los parámetros analizados en cada sitio fueron definidos a partir de la norma para Agua Potable de México (NOM 127 SSA1 1994), los criterios de la calidad del agua de la Comunidad Económica Europea (Gray, 1994), de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1995), las concentraciones máximas de United States Environmental Protection Agency (Gray, 1994) y del estudio de Jiménez *et al.*, 1997.

Cada parámetro se analizó en forma paralela por cinco laboratorios diferentes, cuatro de ellos acreditados ante el SINALP (Jiménez, 1999). En total se analizaron 276 parámetros (22 físicos; 34 metales, no metales y compuestos inorgánicos; 7 microbiológicos; 213 compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles, carbamatos, pesticidas clorados, PCB's, pesticidas fosforados, trihalometanos, TPH's, toxicidad y radioactividad) con el objeto de verificar exhaustivamente la calidad del agua y no cometer un error que afectara la salud humana.

Modelos empleados para la determinación de la calidad del agua.

Para entender con mayor claridad los resultados encontrados, se calcularon y compararon dos índices, que determinan la calidad del agua con respecto a las normatividades y criterios aplicados. El primero de ellos fue el Índice de Calidad del Agua (ICA) (CNA, 1998) y, el segundo, el Índice Potencial de Uso (IPU) (Jiménez, 1995). El primero indica el grado de contaminación expresado como un valor (en porcentaje) relativo a la del agua pura, mientras que el segundo permite detectar los parámetros que no son cumplidos y en qué medida exceden la norma comparada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del agua del Pozo 9 Pemex, Teocalco, Hgo. (Acuífero 1)

En este sitio los parámetros que siempre excedieron la norma (NOM-127 SSA1 1994) fueron: coliformes totales (16 vs 2 NMP/100 mL), coliformes fecales (1.3 vs 0 NMP/100 mL), nitratos (24 vs 10 mg/L) y nitrógeno amoniacal (0.7 vs 0.5 mg/L).

En más de dos ocasiones se encontró que el valor máximo (más no el promedio) excedió la norma en los siguientes casos: mercurio (0.002 vs 0.001 mg/L), plomo (0.044 vs 0.025 mg/L), sodio (317 vs 200 mg/L), SAAM (0.6 vs 0.5 mg/L) y SDT (1054 vs 1000 mg/L).

La mayor parte de los estándares internacionales son más estrictos que los de la norma nacional, por ello, se encontró que la dureza total (324 vs 60 mg CaCO₃/L), el NTK (1.5 vs 1.0 mg/L), la alcalinidad (520 vs 49 mg CaCO₃/L), el boro (0.55 vs 0.3 mg/L) y el potasio (32 vs 12 mg/L) los rebasan. En los parámetros restantes no se tuvo ningún resultado adverso (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros que exceden los valores de normas para el agua del Pozo 9 Pemex, Teocalco, Hgo.

Parámetro, Unidad	Valor máximo de norma	No. de datos	Promedio ± desviación estándar	Mín	Máx
Coliformes Totales, NMP/100 mL	NOM 127 = 2 EPA^J (5%) OMS Y CCE = 0	6	16± 21	ND	43
Coliformes Fecales, NMP/100 mL	NOM 127, EPA, OMS, CEE = 0	7	1.3±1.3	ND	4
Mercurio	NOM 127, OMS y CEE = 0.001 EPA= 0.002	5	0.001±0.000 9	ND	0.002
Plomo, mg/L	NOM 127 = 0.025 EPA = 0.015 OMS = 0.01 CEE = 0.05	6	0.02±0.02	ND	0.044
Sodio, mg/L	NOM 127, OMS = 200 CEE = 150	6	176±98	81	317
Dureza total, mg CaCO ₃ /L	NOM 127 = 500 CEE = 60	6	324±37	265	376
NTK, mg/L	CEE = 1.0	5	1.5±1.57	ND	6.4
Nitratos mg N-NO ₃ /L	NOM-127 y EPA = 10 OMS Y CEE = 11 [∞]	6	24±24	1.4	77
Nitrógeno amoniacal mg N-NH ₄ /L	NOM 127 y CEE = 0.5	7	0.7±0.7	ND	4.4
SAAM	NOM 127 = 0.5	7	0.2±0.2	ND	0.6
Alcalinidad total, mg CaCO ₃ /L	CEE = 49[™]	7	520 ±191	385	942
Boro mg/L	OMS = 0.3	4	0.55 ±0.14	0.44	0.76
Potasio, mg/L	CEE = 12	6	32 ±4.6	25	37
Sólidos disueltos totales, mg/L	NOM 127 y OMS = 1000 CEE = 1500	8	945±100	789	1054

^JMáximo 5% de las muestras positivas de CT en un mes. (Para los sistemas de agua que recolectan al menos 40 muestras rutinariamente por mes, máximo 1 muestra resulta positiva de CT). Cada muestra que contenga CT debe ser analizada para CF, la cual deberá estar excenta

^{*} 30 mg/L como HCO₃ = 49 mg/L CaCO₃

[™]11 mgN-NO₃/L = 50 mg/L NO₃

Caracterización del agua de Tezontepec de Aldama, Hgo. (Acuífero 2)

En Tezontepec, los parámetros que no cumplen con la norma nacional son: los CT (27 vs 2 NMP/100 mL), los CF (4.2 vs 0 NMP/100 mL), los nitratos (17 vs 10 mg/L) y los SDT (1038 vs 1000 mg/L). Además, se determinó que el hierro (0.94 vs 0.3 mg/L), el manganeso (0.06 vs 0.15 mg/L), el mercurio (0.005 vs 0.001 mg/L), el plomo (0.08 vs 0.025 mg/L) y el sodio (264 vs 200 mg/L), sobrepasaron al menos una vez los valores establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, por lo que es importante considerarlos para la selección del sistema de potabilización, con la finalidad de disminuir los riesgos a la salud.

En relación con los criterios internacionales, y en especial los de la CEE, rebasaron el manganeso (0.01 mg/L), los cloruros (179 mg/L), la dureza y la alcalinidad total (452 y 511 mg/L respectivamente), el NTK (1.6 mg/L), el níquel (0.011 mg/L), las SAAM (0.14 mg/L), el magnesio (64 mg/L), la plata (0.004 mg/L), el boro (0.63 mg/L) y el potasio (31 mg/L) en adición a los anteriormente señalados (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros que sobrepasan la Legislación en el agua de la noria de Tezontepec de Aldama, Hgo.

Parámetro, Unidad	Valor de norma	No. de datos	Promedio \pm desviación estándar	Mín	Máx
Coliformes Totales, NMP/100 mL	NOM 127 = 2 EPA ^o (5%) OMS Y CCE = 0	8	27\pm 27	0	200
Coliformes Fecales, NMP/100 mL	NOM 127, EPA, OMS, CEE = 0	9	4.2\pm9.0	0	29
Fierro, mg/L	NOM 127 y OMS= 0.3 CEE = 0.2	8	0.16 \pm 0.3	< 0.003	0.94
Manganeso, mg/L	NOM 127= 0.15, OMS = 0.5 y CEE = 0.05	8	0.01 \pm 0.02	ND	0.06
Mercurio, mg/L	NOM 127, OMS Y CEE = 0.001 EPA 0.002	7	0.001 \pm 0.002	ND	0.005
Plomo, mg/L	NOM 127 = 0.025 EPA = 0.015 OMS = 0.01 CEE = 0.05	8	0.02 \pm 0.03	ND	0.08
Sodio, mg/L	NOM 127, OMS = 200 CEE = 150	8	168 \pm 73	75	264
Cloruros, Cl ⁻ mg/L	NOM 127, OMS = 250 CEE= 200	8	179 \pm 17	160	216
Dureza total mg CaCO ₃ /L	NOM 127 = 500 CEE = 60	8	452 \pm 15	438	485
NTK, mg/L	CEE = 1.0	6	1.6 \pm 1.6	< 0.1	7.4
Nitratos mgN-NO ₃ /L	NOM-127 y EPA = 10 OMS Y CEE = 11 [✶]	8	17\pm17	1.4	56
SAAM, mg/L	NOM 127 = 0.5	9	0.14 \pm 0.3	ND	0.9
Magnesio, mg/L	CEE = 50	8	64 \pm 17	28	83

Parámetro, Unidad	Valor de norma	No. de datos	Promedio ± desviación estándar	Mín	Máx
Alcalinidad total, CaCO ₃ mg/L	CEE = 49*	9	511 ±150	333	906
Boro, mg/L	OMS = 0.3	5	0.63±0.1	0.48	0.72
Potasio mg/L	CEE =12	8	31 +7	19	39
Sólidos disueltos totales,mg/L	NOM 127 y OMS = 1000 CEE = 1500	10	1038±188	551	1159

^o Máximo 5% de las muestras positivas de CT en un mes. (Para los sistemas de agua que recolectan al menos 40 muestras rutinariamente por mes, máximo 1 muestra resulta positiva de CT). Cada muestra que contenga CT debe ser analizada para CF, la cual deberá estar excenta

* 30 mg/L como HCO₃ = 49 mg/L CaCO₃

[~] 11 mgN-NO₃ = 50 mg/L NO₃

Comparación de los modelos de calidad

El IPU en Teocalco calculado con base en los diferentes estándares considerados (Tabla 3) es de 1.22 para la NOM-127SSA1-1994. De un total de 42 parámetros comparados, cuatro excedieron la norma (CT, CF, nitratos y nitrógeno amoniacal). El IPU fue de 1.3 para la OMS, 1.4 para la EPA, y de 2.02 para la CEE. En cambio, basados en el ICA el valor obtenido de 55 se considera que el agua es apta para el consumo humano sólo si se potabiliza (Tabla 3).

En Tezontepec el ICA resultó de 52, por lo que el agua se considera no apta para consumo y con necesidad de emplear un tratamiento terciario para su potabilización. En caso del IPU, su cálculo para cualquiera de los criterios no es satisfactorio y tienen un valor de IPU = 1.40 para los estandares de la NOM 127 SSA1 1994, para la OMS de 1.52, la EPA de 1.71, y de 2.47 para CEE (Tabla 3).

Tabla 3. Valor del ICA e IPU para diversas aguas muestreadas

Sitio de muestreo	NORMA		CRITERIOS					
	MEXICANA		OMS		USEPA		CEE	
	ICA	IPU	ICA	IPU	ICA	IPU	ICA	IPU
Pozo Teocalco	55	1.2	55	1.3	55	1.4	55	2.02
Pozo Tezontepec	52	1.4	52	1.5	52	1.71	52	2.47

Considerando los resultados obtenidos en ambos lugares, se realizó una comparación entre la calidad del agua potable de las fuentes de suministro del Distrito Federal en las cuales se detectó la presencia de Pb y Hg, con IPU promedio de 1.04 y un ICA de 49.7. Por lo que presenta una mejor calidad, sin embargo, es importante considerar que el agua del valle del Mezquital proviene de las infiltraciones del Agua Residual sin previo tratamiento donde existe una acumulación principalmente de iones.

Para potabilizar el agua de los acuíferos del valle del Mezquital se podrá utilizar un proceso de tratamiento terciario, que consista en: ozonación + filtración + sistema de membranas (Osmosis Inversa o Electrodiálisis) + desinfección (UV + cloro). El esquema emplea como proceso fundamental las membranas, ya que permiten con

seguridad remover iones y moléculas con pesos superiores a algunas decenas de gramos por mol ($< 10^{-7}$ mm).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los estudios geohidrológicos, es factible extraer un total de 6 m³/s de agua (en una primera etapa) y aprovecharla en el Valle de México.

Con base en los índices, se concluye que ninguna agua cumple con la calidad para uso potable en forma directa ya que al menos un parámetro sobrepasa el valor establecido en la norma y/o los criterios internacionales, por lo que se requiere un tratamiento previo. Entre los parámetros más importantes destacan los microbiológicos (coliformes totales y fecales), las formas nitrogenadas (nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal), algunos elementos (plomo y boro) y iones disueltos (SDT, cloruros y sodio).

Se prevé la disminución en el caudal base del río Tula y en el de los manantiales, lo que debe tomarse en cuenta. Se estima que para extraer 6 m³/s se necesitarán alrededor de 90 pozos esto es, un promedio de 70 L/s de cada pozo. Se recomienda una explotación gradual para ir conociendo las respuestas del acuífero.

RECOMENDACIONES

Para poder utilizar el acuífero del valle del Mezquital como fuente de abastecimiento para el Valle de México es necesario efectuarles un tratamiento avanzado que se recomienda probar a nivel piloto.

Para que los acuíferos del valle del Mezquital no sufran daños adversos es necesario protegerlos. Para minimizar el riesgo de contaminación se propone: Efectuar un tratamiento al agua residual antes de emplearse en riego agrícola; dar un manejo adecuado de las láminas de riego a través de un riego con tasa lenta y/o de un flujo superficial; y construir y proteger adecuadamente las fuentes de abastecimiento.

REFERENCIAS

APHA, WWA, WEF (American Public Health Association, Water Works Association and Water Environment Federation). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th edn. Washington D.C; 1995.

BGS/CNA/ LSHTM/UB, (1998). Impact of wastewater reuse on groundwater in the Mezquital Valley, Hidalgo State, México. Final Report.

Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC). 1998 Eficiencia y uso sustentable del agua en México: Participación del sector privado,.

CNA, Gerencia de la calidad del agua, 1993-1994 (ICA) (información personal)

Cruickshank, C. (1997) Estudios Complementarios del Plan Maestro de Agua Potable de la Ciudad de México, 1998-2010. Revisión de dos estudios sobre el balance geohidrológico en una parte del Valle de México. Realizado para la DGCOH. No. contrato 7-C04-1-0699. Instituto de Ingeniería, UNAM. 19 p.

Diario Oficial de la Federación (1994) Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1 1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación Lunes, 15 de agosto.

Gray, N. F (1994). Drinking Water Quality, Problems and Solutions. John Wiley & Sons Ltd. ISBN:0-471-94817-9 y 0-471-94818-7. Inglaterra. 315 p.

Jiménez B., 1999 Manejo integral en cantidad y calidad del agua en el Valle de México, Colegio de Ingenieros Civiles de México, Febrero,.

Jiménez B. Chávez A., and Hernández C. (1998) Alternative Wastewater Treatment Intended for Agricultural Use in Mexico. Recycling and Reuse. 2º. International Conference. Resources and Environmental: Priorities and Challenge. 14-16 September. Milan Italy, 691-698.

Jiménez B.,(1995) "Índice de disponibilidad del agua en base a su calidad y cantidad", Conferencias internacionales de manejo de fuentes de agua en ciudades áridas, Muscat, Oman, Marzo.

Jiménez B, Alcántara L y Sotomayor C. (1997). Estudio de la calidad y suministro del agua para consumo humano doméstico en el Valle del Mezquital. Instituto de Ingeniería de la UNAM, Informe final. México, Proyecto 5322.

Jiménez B, Chávez A, Cruickshank C, Pérez R, Jiménez R (1999). Estudio de la factibilidad del empleo del agua del acuífero del valle del Mezquital para suministro del Valle de México. Instituto de Ingeniería de la UNAM, Informe final. México, Proyecto 8393.

National Research Council, (1994). El Agua y la Ciudad de México. Abastecimiento y Drenaje, Calidad, Salud Pública, Uso Eficiente y Marco Jurídico e Institucional. ISBN: 968-7428-02-3. Impreso en México. 353 p.