



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA**

**CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL**

**Metodología para la evaluación de fuentes de abastecimiento, caso de estudio Zona Metropolitana del Valle de México.**

**T E S I N A**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA**

**P R E S E N T A :**

**ING. LAURA ELENA MORENO RIVERA**

**DIRECTOR DE TESINA: DRA. ALMA CONCEPCIÓN CHÁVEZ MEJÍA**

**CIUDAD DE MÉXICO**

**FEBRERO 2017**



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.

# Contenido

Tablas.....	iv
Ilustraciones.....	v
Resumen.....	vi
I. Planteamiento del problema.....	1
A. Introducción .....	1
B. Problema de aplicación .....	3
C. Hipótesis .....	5
D. Objetivo.....	5
II. Marco teórico .....	7
A. Antecedentes.....	7
1. Zona de estudio.....	7
2. Disponibilidad de agua en México .....	9
3. Sistemas de abastecimiento .....	9
4. Balance del recurso hídrico.....	14
5. Métodos de evaluación.....	16
III. Metodología .....	19
A. Recolección de datos.....	19
B. Conceptualización de los sistemas propuestos para nuevas fuentes de abastecimiento.....	19
1. Temascaltepec.....	20
2. El acuífero del Valle del Mezquital.....	21
3. Tecolutla-Necaxa.....	23

C.	Formación de las matrices multicriterio.....	25
1.	Aspectos técnicos.....	26
2.	Aspectos sociales.....	27
3.	Aspectos económicos.....	29
4.	Aspectos ambientales .....	31
D.	Normalización de matrices .....	34
IV.	Análisis de resultados .....	35
A.	Aplicación: Zona Metropolitana Valle de México .....	35
1.	Análisis técnico.....	35
2.	Análisis social.....	37
3.	Análisis económico.....	40
4.	Análisis ambiental. ....	42
5.	Alternativas de fuentes de abastecimiento de agua para la ZMVM.....	45
V.	Conclusiones y recomendaciones .....	47
	Referencias .....	49
VI.	Anexos .....	a
	Anexo 1.....	b
	Anexo 2.....	c
	Criterio técnico. ....	c
	Criterio social.....	e
	Criterio económico. ....	g
	Criterio ambiental.....	h

# Tablas.

Tabla 1. Proyección de población al año 2030. Elaboración propia con información de CONAPO 2017.....	7
Tabla 2. Criterios técnicos a evaluar.....	26
Tabla 3. Criterios sociales a evaluar. ....	27
Tabla 4. Criterios económicos a evaluar.....	30
Tabla 5. Criterios ambientales a evaluar. ....	32
Tabla 6. Calificación de los atributos del criterio técnico.....	35
Tabla 7. Calificación ponderada de los atributos del criterio técnico.....	35
Tabla 8. Orden de ejecución con respecto a los atributos del criterio técnico.....	36
Tabla 9. Calificación de los atributos del criterio social. ....	37
Tabla 10. Calificación ponderada de los atributos del criterio social.....	38
Tabla 11. Orden de ejecución con respecto a los atributos del criterio social.....	39
Tabla 12. Calificación de los atributos del criterio económico. ....	40
Tabla 13. Calificación ponderada de los atributos del criterio económico.....	41
Tabla 14. Orden de ejecución con respecto a los atributos del criterio económico. ....	41
Tabla 15. Calificación de los atributos del criterio ambiental.....	43
Tabla 16. Calificaciones ponderadas para el criterio ambiental. ....	43
Tabla 17. Orden de ejecución con respecto a los atributos del criterio ambiental. ....	44
Tabla 18. Calificación ponderada de los criterios para las alternativas de nuevas fuentes.	46

# Ilustraciones.

Ilustración 1. Fuentes alternativas de abastecimiento. Obtenida de El gran reto del agua en la Ciudad de México Sistema de aguas de la Ciudad de México, 2012.....	5
Ilustración 2. Esquema de un sistema de abastecimiento urbano (César Valdez, 1994) ....	10
Ilustración 3. Perfil de Elevaciones Sistema Cutzamala. CONAGUA, 2015. ....	11
Ilustración 4. Sistema Lerma. Obtenido de CONAGUA 2012 .....	12
Ilustración 5. Fuentes de abastecimiento de agua. Tomada de El gran reto del agua en la Ciudad de México. 2012. ....	14
Ilustración 6. Fuente: González Villareal, et al., 2017. ....	15
Ilustración 7. Perfil de elevaciones del proyecto Temascaltepec. CONAGUA, 2015. ....	21
Ilustración 8. Perfil de elevaciones del proyecto Valle del Mezquital. CONAGUA, 2015. ...	23
Ilustración 9. Preliminar del proyecto Tecolutla-Necaxa. Obtenido de González Villareal, et al., 2013. ....	24

# Resumen.

El trabajo presenta la metodología para el análisis de selección de las nuevas fuentes de abastecimiento de agua considerando, como ejes principales, los aspectos técnicos, sociales, económicos y ambientales. Esta metodología puede aplicarse como una herramienta para futuros evaluadores de diversos proyectos hidráulicos enfocados al abastecimiento de agua.

Como caso de estudio, se analiza la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) debido a la gran problemática que presenta con respecto a la disponibilidad del recurso hídrico y a la sobrepoblación de la misma. En primer término, se hizo el análisis de las tres alternativas de abastecimiento más importantes, que son: el proyecto Temascaltepec, el Valle del Mezquital y el proyecto Tecolutla-Necaxa, cada uno con condiciones diferentes por lo cual el análisis se apoya en el método de formación de Matrices Multicriterio considerando aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales y el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), con la ventaja de homogenizar las características de cada uno de los proyectos evaluados para lograr una mejor comparación entre ellos.

Debido a la configuración actual del sistema de abastecimiento de la ZMVM y a la problemática que representa el estrés hídrico, las fallas en la infraestructura hidráulica y la sobrepoblación de la cuenca, los resultados muestran que el proyecto Temascaltepec es la alternativa a implementar en el corto plazo con una calificación obtenida con el PAJ de 1.48, siendo seguida de la reimportación del agua del Valle del Mezquital obteniendo una calificación de -0.72 y por último el proyecto Tecolutla-Necaxa con una calificación de -0.76. El análisis muestra que el caudal disponible es el elemento de mayor importancia en el criterio técnico otorgándole 40.33% de la calificación; para el criterio social el pago anual por trasvase entre cuencas es el que recibe una mayor ponderación (49.32%); el monto de la inversión es el aspecto con mayor porcentaje dentro del criterio económico debido a que muestra un 41.27% y dentro del criterio ambiental los cambios en la producción en la calidad ambiental y efectos de la salud es el elemento predominante con 38.03%.

Debido a las calificaciones finales obtenidas se hace la sugerencia de un mayor estudio en nuevas alternativas de fuentes de abastecimiento.

# I. Planteamiento del problema.

## A. Introducción

El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es el vínculo crucial entre la sociedad y el medioambiente (Merkova, 2017).

El 28 de julio de 2010, a través de la Resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos. En noviembre de 2002, el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales adoptó la Observación General N° 15 sobre el derecho al agua. El artículo I.1 establece que "El derecho humano al agua es indispensable para una vida humana digna". La Observación N° 15 también define el derecho al agua como el derecho de cada uno a disponer de agua suficiente, saludable, aceptable, físicamente accesible y asequible<sup>1</sup> para su uso personal y doméstico (Organización de las Naciones Unidas, 2014).

La escasez de agua constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI al que se están enfrentando ya numerosas sociedades de todo el mundo. A lo largo del último siglo, el uso

---

**1Suficiente.** Suficiente y continuo para el uso personal y doméstico. Son necesarios entre 50 y 100 litros de agua por persona y día para garantizar que se cubren las necesidades más básicas.

**Saludable.** Libre de microorganismos, sustancias químicas y peligros radiológicos que constituyan una amenaza para la salud humana. Las medidas de seguridad del agua potable vienen normalmente definidas por estándares nacionales y/o locales de calidad del agua de boca.

**Aceptable.** El agua ha de presentar un color, olor y sabor aceptables

**Físicamente accesible.** Todo el mundo tiene derecho a unos servicios de agua y saneamiento accesibles físicamente dentro o situados en la inmediata cercanía del hogar.

**Asequible.** El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) sugiere que el coste del agua no debería superar el 3% de los ingresos del hogar.

y consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la tasa de crecimiento de la población y, aunque no se puede hablar de escasez hídrica a nivel global, va en aumento el número de regiones con niveles crónicos de carencia de agua.

La escasez de agua es un fenómeno no solo natural sino también causado por la acción del ser humano. Hay suficiente agua potable en el planeta para abastecer a los 7,000 millones de personas que lo habitamos, pero esta está distribuida de forma irregular, se desperdicia, está contaminada y se gestiona de forma insostenible (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas, 2014).

Por razones históricas y políticas, México es un país muy centralizado, a pesar de los esfuerzos realizados por el gobierno en los años recientes para su descentralización. A causa de esto, los servicios gubernamentales y el desarrollo industrial se han concentrado en la Ciudad de México. En efecto, en esta ciudad, se localiza el 45 por ciento de la actividad industrial nacional y genera el 38 por ciento de su producto nacional bruto. La ciudad alberga casi todas las oficinas de gobierno, los centros de negocios nacionales e internacionales, las actividades culturales, las universidades y los institutos de investigación más importantes. El rápido crecimiento de los últimos 50 años se ha caracterizado tanto por la expansión de áreas urbanas y residenciales planeadas para las clases media y alta, como por las invasiones ilegales de tierra y los asentamientos no planificados en las áreas periféricas. A lo largo del tiempo, las autoridades gubernamentales han prestado atención a estos asentamientos irregulares, proporcionándoles servicios urbanos que incluyen el abastecimiento de agua, aunque dichos servicios han sido insuficientes e inadecuados la mayor parte del tiempo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014).

La larga historia como centro urbano de la porción norte del valle (historia que se inicia con la capital azteca, Tenochtitlan, en el siglo XIV), da fe de su poder de atracción. La hidrología de esta región incluye un excelente sistema acuífero y un gran número de manantiales. Sin embargo, la especial localización física de la Ciudad de México ubicada en un valle alto dentro de una cerrada naturalmente por montañas representa un reto singular para el suministro de agua a una población urbana de gran magnitud. Además, la ciudad se sitúa en el lecho de un antiguo lago salino, sin un drenaje natural lo que representa un verdadero reto en el desalojo del agua residual generada; esto, aunado a un patrón de lluvias de temporal intensas, dificulta el desagüe de las tormentas. No existen fuentes importantes de agua superficial cercanas susceptibles de ser aprovechadas junto con la fuente local del subsuelo. Por si fuera poco, la elevación del valle provoca que la importación de agua sea

una alternativa costosa. Por último, la unidad arcillosa del subsuelo bajo el área metropolitana tiende a consolidarse debido al peso de los edificios, lo cual provoca un asentamiento diferencial que, combinado con la sobreexplotación de los acuíferos subyacentes, tiene por efecto el hundimiento del suelo de la región.

La falta de agua genera problemas que impactan en múltiples aspectos de la vida diaria; en efecto, su escasez provoca problemas de salud en las personas, dificulta las labores domésticas y la tarea de hacerse con ella requiere de gran cantidad de trabajo familiar. La persistencia de rezagos en el servicio de abastecimiento de agua potable y saneamiento obedece en gran parte a las dificultades que existen al trabajar en terrenos montañosos y a los elevados costos de las obras de infraestructura en esos lugares (SEDESOL, 2014). Si a esto se le adhiere un ordenamiento urbano poco planeado y la existencia de asentamientos irregulares este problema tiende a acentuarse en lugares como la Ciudad de México y su Zona Metropolitana<sup>2</sup>.

## B. Problema de aplicación

Lo ideal para el desarrollo sostenible de las regiones aledañas a la cuenca del Valle de México sería buscar la autosuficiencia y no interconectarla con otras adicionales. Sin embargo, el problema ancestral heredado es que la Ciudad de México se estableció en un lugar apto solo para unos cuantos cientos de miles de personas y ahora la habitan poco más de 20 millones. Por ello, se concentra la demanda de agua en una cuenca con una disponibilidad natural muy limitada (Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2012).

Uno de los grandes problemas existentes en las grandes ciudades es el abastecimiento de agua potable y para ello se deben tomar en cuenta la existencia de leyes y normas que rigen la disposición del recurso.

Se estima que en la Zona Metropolitana del Valle de México existe un déficit de agua de unos 8 m<sup>3</sup>/s; tomando en consideración las proyecciones de crecimiento poblacional en la región para el año 2030, la demanda futura alcanzaría los 83 m<sup>3</sup>/s para satisfacer la demanda de algo más de 23 millones de personas. Además de que también se detectaron anomalías en diferentes rubros tales como: las fugas del orden del 35% en las redes de

---

<sup>2</sup> Se definen como zonas metropolitanas todos aquellos municipios y delegaciones que contienen una ciudad de un millón o más habitantes, así como aquéllas con ciudades de 250 mil o más habitantes que comparten procesos de conurbación con ciudades de Estados Unidos de América.

abastecimiento, la obsolescencia de la infraestructura hidráulica, la mala calidad del agua en varios puntos al oriente de la ZMVM y que en algunas zonas el abastecimiento de la misma se realiza con pipas con una higiene deficiente (González Villarreal, et al., 2013).

Con la finalidad de satisfacer la creciente demanda de agua potable en la ZMVM, en 2013 se inician los estudios de las nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable (Comisión Nacional del Agua, 2013). Las alternativas para desarrollar una nueva fuente de agua para la Ciudad de México y su zona metropolitana existen desde hace décadas, las estrategias oficiales se enfocan principalmente a soluciones para aumentar la cantidad del agua disponible, sobre todo con medidas convencionales para captar más fuentes de primer uso, como los trasvases de agua de otras cuencas (Escolero Fuentes, et al., 2009).

Dentro de las alternativas de nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable para la ZMVM se encuentran los proyectos denominados Temascaltepec, el acuífero del Valle del Mezquital y Tecolutla-Necaxa, para los cuales se priorizan los estudios técnicos, económicos, ambientales y sociales debido a la fuerte presencia de estos elementos en el desarrollo de un proyecto.

Los criterios se analizan con ayuda de la formación de Matrices Multicriterio y con el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), logrando otorgar una calificación objetiva y estableciendo una comparación entre los criterios a pesar de ser tan diferentes.

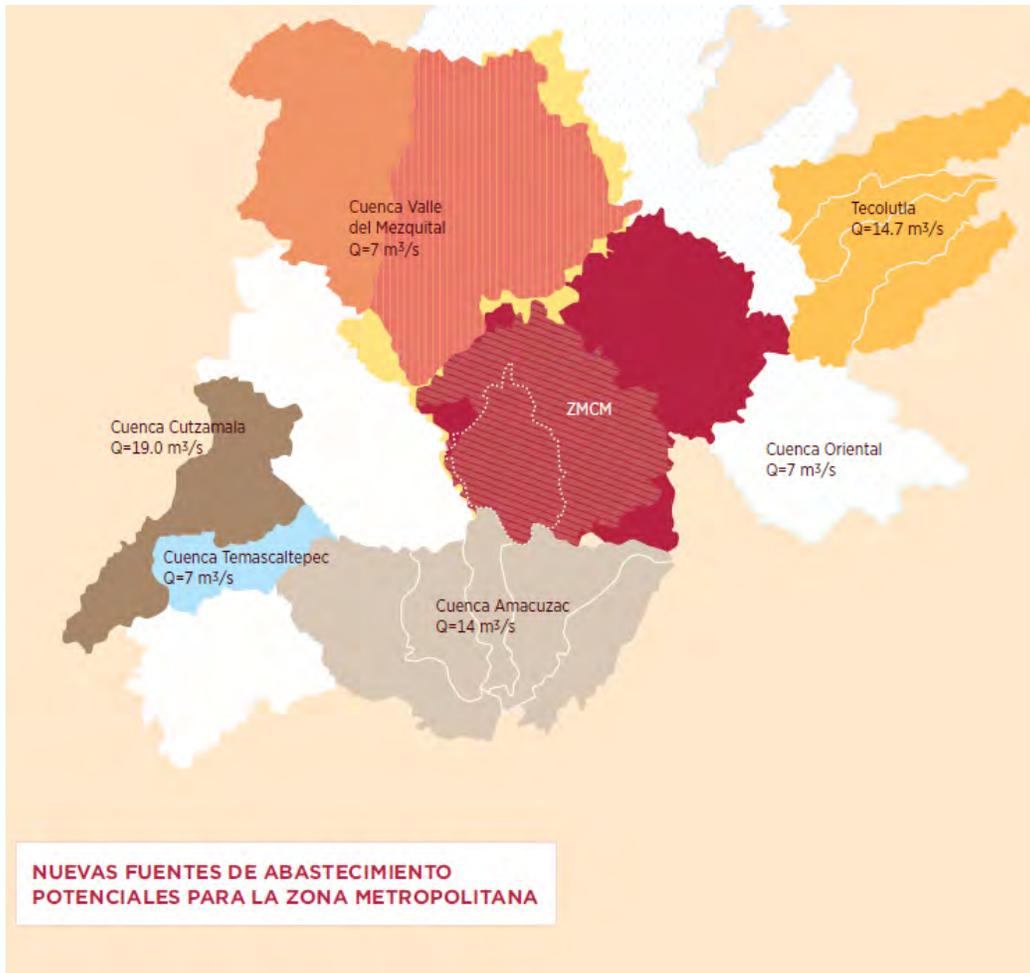


Ilustración 1. Fuentes alternativas de abastecimiento. Obtenida de *El gran reto del agua en la Ciudad de México Sistema de aguas de la Ciudad de México, 2012.*

### C. Hipótesis

En la evaluación de proyectos, en la etapa de prefactibilidad, los aspectos técnicos, sociales, económicos y técnicos de un proyecto son los de mayor importancia en la toma de decisiones.

### D. Objetivo

Determinar una metodología de evaluación de las posibles fuentes de abastecimiento de agua futuras para la Zona Metropolitana del Valle de México.

Como objetivos particulares se proponen:

- Conocer la situación del abastecimiento de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México para seleccionar la mejor alternativa de fuente futura.
- Categorizar los criterios de evaluación de un proyecto como herramientas para la selección de las alternativas de futuras fuentes de abastecimiento.
- Generar herramientas de evaluación para proyectos de abastecimiento de agua tomando en cuenta el estudio de caso.

## II. Marco teórico

### A. Antecedentes

#### 1. Zona de estudio.

La Zona Metropolitana del Valle de México se encuentra al norte 20°04'02", al sur 18°55'08" de latitud norte; al este 98°34'08", al oeste 99°39'06" de longitud este. Colinda al norte con los estados de Hidalgo y México; al este con los estados de México, Tlaxcala y Puebla; al sur con los estados de México y Morelos; al oeste con el estado de México.

La gestión de los recursos hídricos de la ZMVM es responsabilidad de la región hidrológico-administrativa XIII. Aguas del Valle de México, Distrito Federal. Comprende 121 municipios con una población reportada al 2010 de 20,501,764 habitantes, y se prevé que para el 2030 haya poco más de 23 millones (CONAGUA, 2014).

#### a) Proyección de población

Se muestran los municipios que conforman la ZMVM donde se presenta la población existente en el año 2010 (INEGI, 2010) y la proyección de población en los años 2020 y 2030 (Tabla 1) (CONAPO, 2017). En la tabla se observa un aumento en la población de casi tres millones de personas, para las cuales será necesario el acceso al agua.

Tabla 1. Proyección de población al año 2030. Elaboración propia con información de CONAPO 2017.

Nombre del municipio	Población		
	2010	Año 2020	2030
Azacapotzalco	418 802	396 731	376 228
Coyoacán	626 154	598 307	563 976
Cuajimalpa de Morelos	188 568	193 024	191 950
Gustavo A. Madero	1 197 913	1 149 158	1 103 668
Iztacalco	388 143	367 989	351 418
Iztapalapa	1 836 582	1 785 931	1 753 832
Nombre del municipio	Población		
	2010	Año 2020	2030
Magdalena Contreras	241 719	240 463	235 161
Milpa Alta	132 227	138 374	139 240
Álvaro Obregón	734 582	725 911	704 630
Tláhuac	364 583	365 975	364 056
Tlalpan	657 507	665 427	648 202
Xochimilco	419 612	414 371	406 278
Benito Juárez	389 028	388 474	357 710

Nombre del municipio	Población		
	Año		
	2010	2020	2030
Cuahtémoc	537 200	524 166	497 453
Miguel Hidalgo	376 591	374 398	354 616
Venustiano Carranza	435 387	410 216	391 368
Tizayuca	98 339	140 727	158 151
Acolman	139 988	204 383	234 007
Amecameca	49 660	54 808	60 999
Apaxco	28 281	32 369	36 113
Atenco	57 673	74 056	83 897
Atizapán de Zaragoza	502 829	568 023	620 111
Atlautla	28 396	33 951	38 294
Axapusco	26 203	31 247	35 038
Ayapango	9 112	12 049	13 641
Coacalco de Berriozábal	285 332	311 088	338 666
Cocotitlán	12 468	13 631	15 027
Coyotepec	40 068	44 032	49 777
Cuautitlán	143 653	182 074	204 624
Chalco	318 213	394 805	449 939
Chiautla	26 886	32 208	36 112
Chicoloapan	179 454	201 850	226 984
Chiconcuac	23 412	28 069	31 549
Chimalhuacán	630 611	766 789	875 798
Ecatepec de Morelos	1 699 615	1 859 266	2 039 602
Ecatzingo	9 615	11 456	13 184
Huehuetoca	102 520	149 426	173 524
Hueyopxtla	40 883	47 117	53 003
Huixquilucan	248 477	288 003	318 534
Isidro Fabela	10 564	12 702	14 393
Ixtapaluca	479 452	561 686	633 645
Jaltenco	27 024	29 765	32 872
Jilotzingo	18 450	23 547	26 518
Juchitepec	24 119	28 341	31 993
Melchor Ocampo	51 529	67 039	75 956

Nombre del municipio	Población		
	Año		
	2010	2020	2030
Naucalpan de Juárez	855 511	946 612	1 034 469
Nezahualcóyotl	1 139 517	1 231 478	1 334 201
Nextlalpan	35 253	49 474	56 950
Nicolás Romero	375 989	460 672	517 003
Nopaltepec	9 120	10 383	11 626
Otumba	35 146	41 684	46 723
Ozumba	27 957	33 024	37 132
Papalotla	4 254	4 925	5 458
La Paz	260 500	303 826	341 992
San Martín de las Pirámides	25 466	30 596	34 247
Tecámac	373 674	487 854	553 582
Temamatla	11 496	13 493	15 359
Temascalapa	36 937	42 480	47 543
Tenango del Aire	10 869	12 794	14 295
Teoloyucan	64 759	65 318	72 501
Teotihuacán	54 344	64 428	72 115
Tepetlaotoc	28 693	33 152	37 241
Tepetlixpa	18 792	21 664	24 075
Tepotzotlán	90 841	116 599	131 253
Tequixquiac	34 794	40 251	45 132
Texcoco	241 175	285 130	317 032
Tezoyuca	36 099	47 954	54 557
Tlalmanalco	47 350	53 486	59 029
Tlalnepantla de Baz	681 560	731 760	784 390
Tultepec	94 164	94 411	105 572
Tultitlán	537 800	632 845	701 529
Villa del Carbón	46 061	54 437	62 229
Zumpango	163 690	204 510	232 404
Cuautitlán Izcalli	525 056	588 777	640 247
Valle de Chalco Solidaridad	366 987	425 915	480 544
Tonanitla	10 482	13 146	14 955
<b>Total</b>	<b>20 501 764</b>	<b>22 086 499</b>	<b>23 247 131</b>

## 2. Disponibilidad de agua en México

El concepto de disponibilidad de agua se refiere al volumen total de líquido que hay en una región.

El servicio de agua y saneamiento en el Valle de México se caracteriza por la alta presión que se ejerce sobre los recursos hídricos existentes (según CONAGUA en 2015 era de 115% sobre el acuífero Cuautitlán Pachuca y de 96% en el acuífero Ciudad de México), debido a la baja disponibilidad de agua natural, las extracciones de agua por encima de los niveles de recarga y una población en crecimiento. Además, el Valle se ve afectado por inundaciones recurrentes debido a sus patrones de lluvia y al hecho de que es una cuenca endorreica<sup>3</sup> (Banco Mundial, 2013).

El uso ineficiente de los recursos hídricos en muchos de los servicios de agua y saneamiento agrava el problema de escasez de agua en la región (Banco Mundial, 2013).

La situación de los recursos hídricos en el Valle de México es muy crítica. El Valle hospeda la mayor aglomeración de América Latina en una cuenca endorreica relativamente pequeña y bajo un clima con precipitaciones relativamente modestas. El crecimiento urbano ha significado que la disponibilidad actual de agua en el Valle esté en el orden de 74 m<sup>3</sup>/habitante, lo que podría considerarse como una situación de estrés hídrico extremo.

La ZMVM se abastece de dos fuentes externas por medio de los Sistemas Lerma y Cutzamala, otra parte se abastece de pozos que extraen el agua del acuífero somero y el resto proviene de fuentes superficiales dentro de la cuenca (González Villarreal, et al., 2013).

## 3. Sistemas de abastecimiento

Un sistema de abastecimiento se define como el conjunto de elementos cuyo fin es el de abastecer y satisfacer las necesidades demandadas por la población en cuestión de recursos hídricos.

Se observa que las partes de que consta un sistema hidráulico urbano son las siguientes: fuente, captación, conducción, tratamiento de potabilización, regularización, distribución y recolección (Ilustración 2).

---

<sup>3</sup>Una cuenca endorreica es aquella que no cuenta con una salida pluvial hacia el mar.

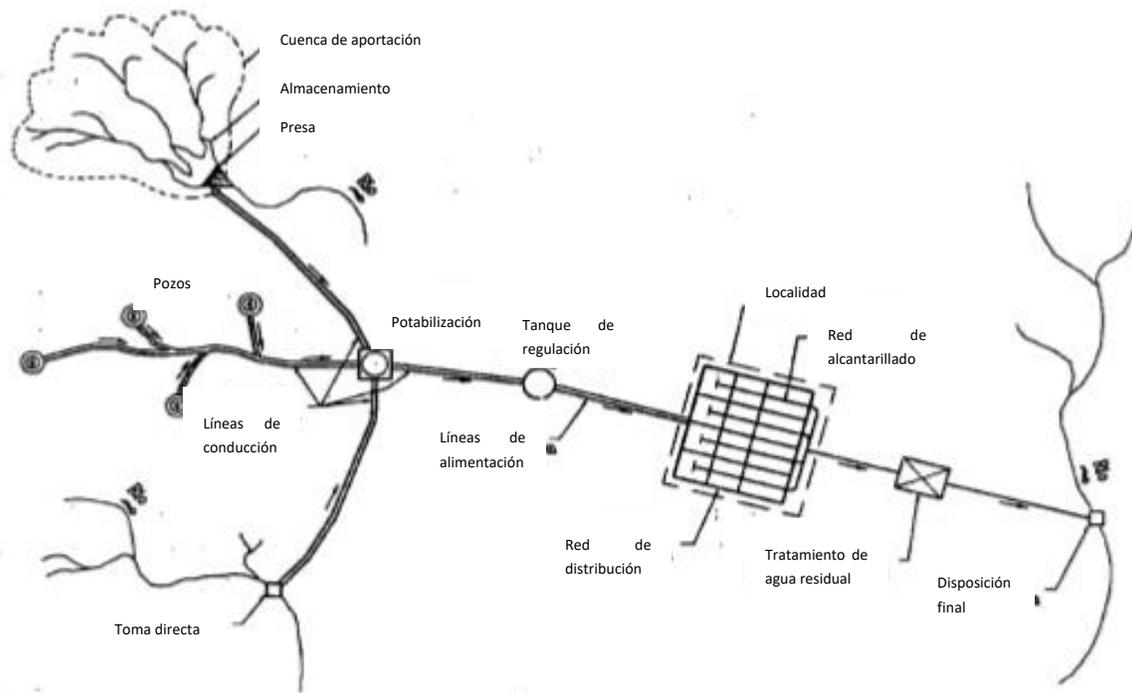


Ilustración 2. Esquema de un sistema de abastecimiento urbano (César Valdez, 1994)

### a) Sistema Cutzamala

El Sistema Cutzamala aprovecha el agua de la cuenca alta del río del mismo nombre. Está conformada por las presas Tuxpan y el Bosque, en Michoacán; Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Villa Victoria y Chilesdo, en el Estado de México.

El sistema fue diseñado, construido y operado por el Gobierno Federal y consiste de tres etapas. Iniciando en 1982 con el aprovechamiento de la Presa Villa Victoria que aportó 4 m<sup>3</sup>/s. En esta primera etapa se construyó la obra complementaria para la operación que consistió en plantas de bombeo, subestaciones eléctricas, canales, torre de oscilación y la planta de tratamiento de Los Berros, entre las más importantes (Escolero Fuentes, et al., 2009).

La segunda etapa se concluyó en 1985 e incluyó el aprovechamiento de la presa Valle de Bravo la que aportó un caudal de 6 m<sup>3</sup>/s al sistema. La obra complementaria incluyó la construcción de plantas de bombeo, líneas de conducción, túneles, torres de oscilación y sumergencia, subestaciones eléctricas y se amplió la capacidad de la planta potabilizadora Los Berros (González Villarreal, et al., 2013).

La tercera etapa comenzó su funcionamiento en 1993 e integró los subsistemas Chilesdo y Colorines para sumar un aprovechamiento de 9 m<sup>3</sup>/s. Chilesdo aporta 1 m<sup>3</sup>/s en promedio y 5 m<sup>3</sup>/s en época de avenidas. El subsistema Colorines aprovecha las aguas de las presas Tuxpan y El Bosque mediante su captación en la presa derivadora Colorines para un suministro promedio de 8 m<sup>3</sup>/s. Las obras complementarias incluyeron planta de bombeo, torres de sumergencia y oscilación, subestación eléctrica, conducciones y se amplió la capacidad de la planta potabilizadora Los Berros (CONAGUA, 2015).

En la Ilustración 3. Perfil de Elevaciones Sistema Cutzamala. CONAGUA, 2015. podemos observar el perfil de elevaciones del sistema Cutzamala descrito.

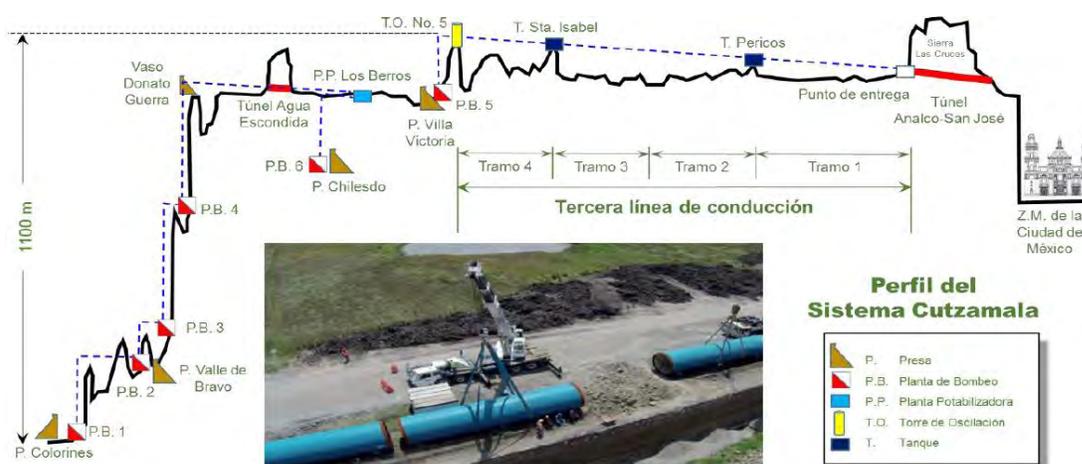


Ilustración 3. Perfil de Elevaciones Sistema Cutzamala. CONAGUA, 2015.

### b) Sistema Lerma

Antes de la construcción del Sistema Cutzamala, el agua de la Cuenca Alto Lerma al Valle de México fue la única fuente externa de agua.

La primera etapa del Sistema Lerma fue construida entre 1942 y 1951 e incluyó la captación de manantiales y agua superficial de Almoloya del Río y su conducción hasta los tanques de Dolores de Chapultepec, atravesando el túnel Atarasquillo – Dos Ríos. Se captó un caudal de 4 m<sup>3</sup>/s de la región Lerma situada a 300 metros por arriba de la altura del entonces Distrito Federal y se perforaron los primeros 5 pozos entre 50 y 308 metros de profundidad. Debido a la crisis que se presentó en 1960, se firmaron convenios con el Gobierno del Estado de México (1965-1970) que terminaron la construcción de una amplia batería de pozos en la cuenca del Alto Lerma. En agosto de 1970 se habían perforado 188 pozos de las cuales se

extraían 10 m<sup>3</sup>/s. Adicionalmente se construyeron los ramales de la Presa Alzate a Ixtlahuaca, el de Juqupilco y los pozos de La Gavia.

El caudal máximo histórico de trasvase para el Sistema Lerma fue de 14.6 m<sup>3</sup>/s en el año 1974. Desde entonces disminuyó la extracción de agua para el envío a la Ciudad de México. En 1985 se envió 6.24 m<sup>3</sup>/s y en 1989 se redujo a 4.32 m<sup>3</sup>/s (Escolero Fuentes, et al., 2009).

En la Ilustración 4 se observa la ubicación de los elementos que conforman al sistema Lerma.

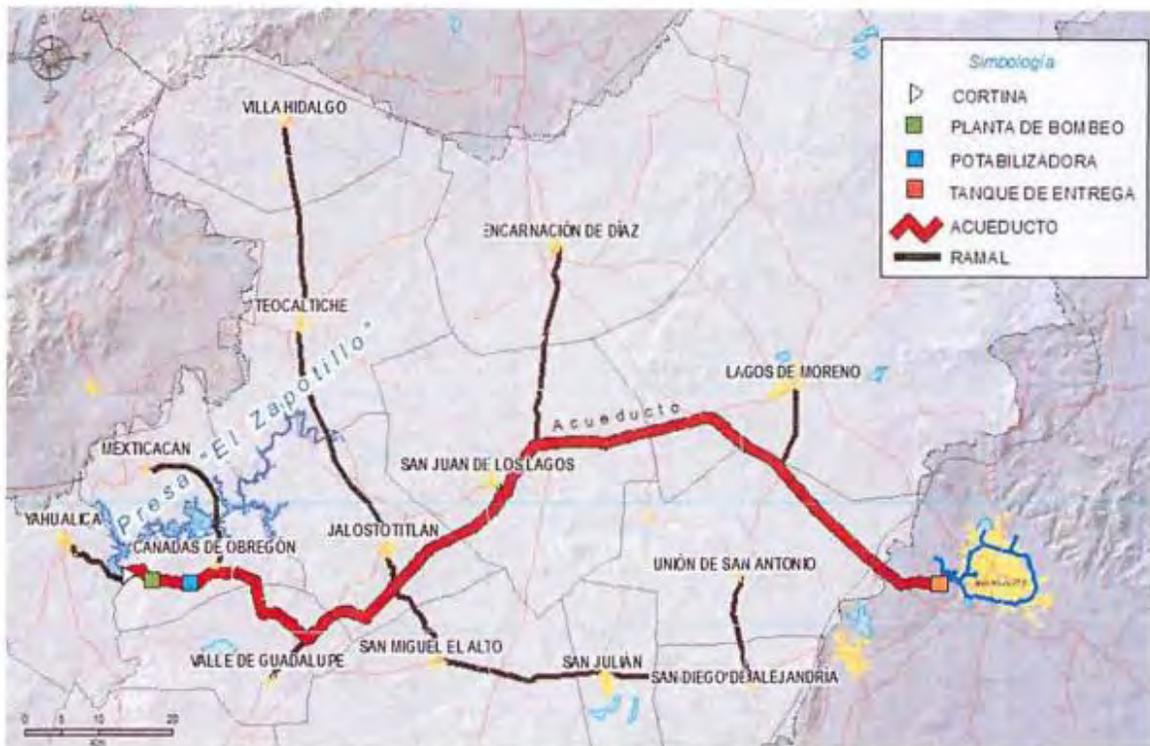


Ilustración 4. Sistema Lerma. Obtenido de CONAGUA 2012

### c) Sistema de Pozos Plan Acción Inmediata (PAI)

El Plan de Acción Inmediata se elaboró en 1970 por la Comisión de Aguas del Valle de México para satisfacer la creciente demanda de agua potable del Valle de México. En la primera etapa se contempló el aprovechamiento transitorio de los acuíferos del valle por medio de nueve baterías de pozos, así como la captación de agua superficial en la cuenca a través de la presa Guadalupe en el norte, y de tres presas en la parte alta del Río Pánuco.

La segunda fase consideraba la importación de agua de la cuenca Balsas. En total se preveía la aportación de 31.83 m<sup>3</sup>/s al Valle de México (Escolero Fuentes, et al., 2009).

*d) Pozos del Sistema de Agua de la Ciudad de México*

Los 588 pozos que opera el Sistema de Agua de la Ciudad de México se ubican dentro de la Ciudad de México. La profundidad promedio de los pozos es de 200 metros, con valores extremos de más de 1,000 metros.

La extracción de agua del acuífero ZMVM por parte del SACM entre 1990-2008 ha sido de alrededor de 15 m<sup>3</sup>/s, con un máximo en 2000 de 15.82 m<sup>3</sup>/s (Anon., 2008).

*e) Sistema Chiconautla.*

Se refiere a una batería de pozos en el Estado de México (Municipio de Ecatepec de Morelos) que capta agua del acuífero Cuautitlán-Pachuca cuya principal zona de recarga se considera el Cerro Chiconautla. Empezó a operar en 1957 (junto con El Peñón) para abastecer a la zona norte de la ciudad, según un acuerdo entre este municipio y el Gobierno del Distrito Federal que incluyó la transferencia de agua subterránea por agua residual para el riego de cultivos (CONAGUA, 2015).

Del gasto inicial de 3.4 m<sup>3</sup>/s, la extracción del sistema ha disminuido a casi la mitad, siendo de 1.33 m<sup>3</sup>/s en 2008.

*f) Manantiales.*

El sistema de abastecimiento de la Ciudad de México incluye el aprovechamiento de 18 manantiales que se encuentran en los municipios de Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Tlalpan dentro de la ciudad que en conjunto aportan 0.8 m<sup>3</sup>/s en promedio (Anon., 2008).

Finalmente en la Ilustración 5 se muestra el caudal que aportan los sistemas de abastecimiento de la ZMVM,

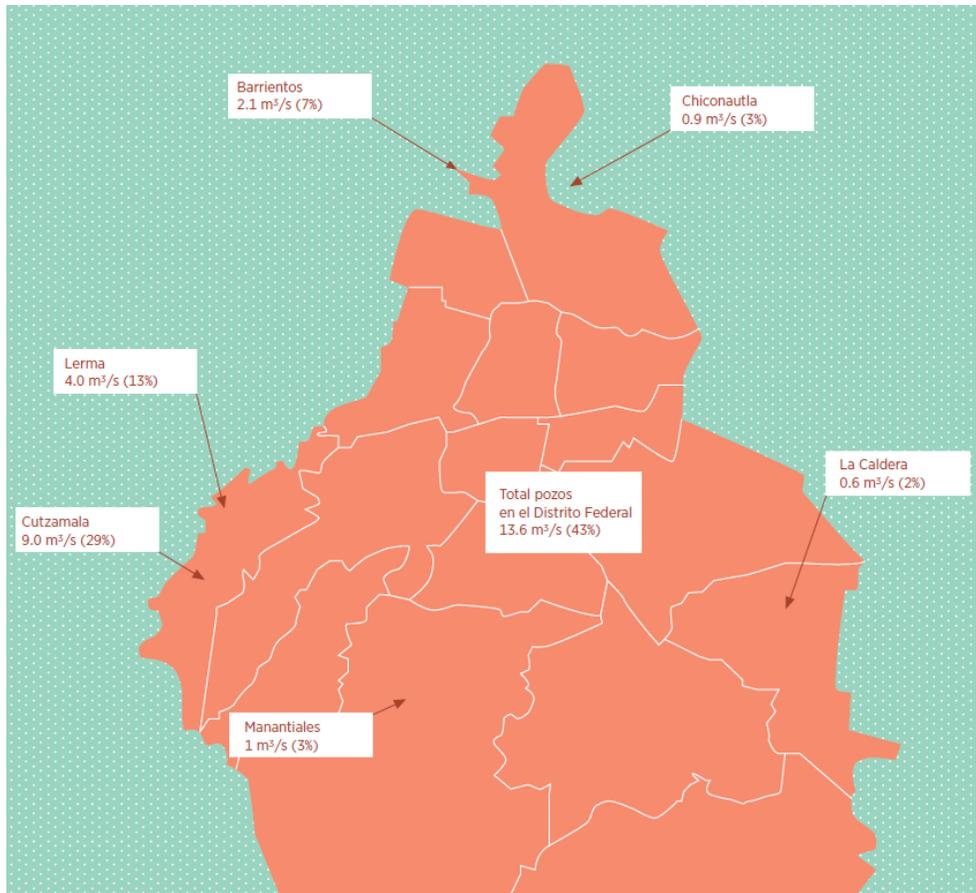


Ilustración 5. Fuentes de abastecimiento de agua. Tomada de *El gran reto del agua en la Ciudad de México*, 2012.

#### 4. Balance del recurso hídrico.

A partir de un estudio de balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre. El conocimiento de este es fundamental para conseguir un uso más racional de los recursos de agua en el espacio y en el tiempo, así como para mejorar el control y la redistribución de los mismos (Sokolov & Chapman, 1991). En la Ilustración 5 se observa el rumbo que toma el recurso hídrico dentro de la ZMVM.

De la precipitación se obtienen 214 m<sup>3</sup> de donde se evapotranspiran cerca de 179 m<sup>3</sup> y de los restantes 12 m<sup>3</sup> son de escurrimiento superficial y 23 m<sup>3</sup> son de recarga para los acuíferos (Ilustración 6).

Se estima que cerca de 63 m<sup>3</sup> son suministrados durante el día a la población de la ZMVM obtenidos de las fuentes antes mencionadas, de los cuales 23 m<sup>3</sup> se contemplan como fugas (Ilustración 6).

Al final del sistema de drenaje se estima que cerca de 50 m<sup>3</sup> es la cantidad del recurso hídrico saliente del Valle (González Villarreal, et al., 2013).

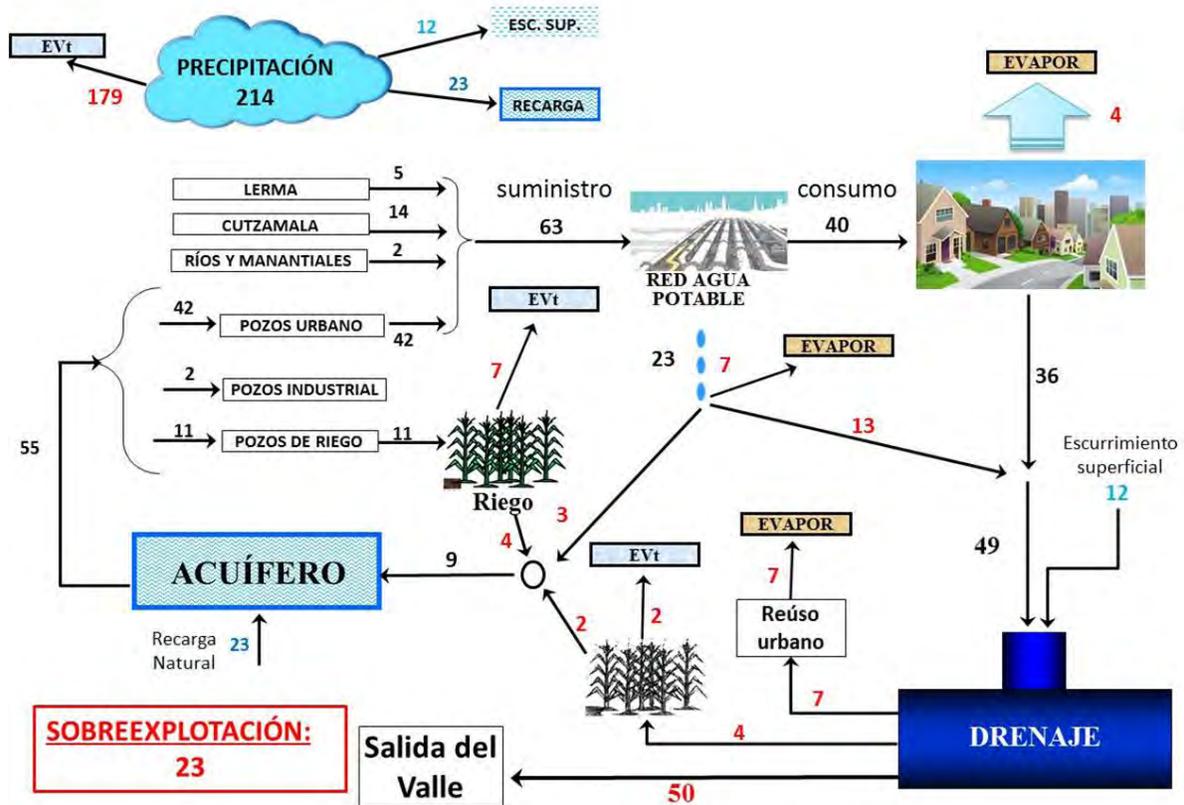


Ilustración 6. Fuente: González Villarreal, et al., 2017.

Con lo descrito anteriormente se observan los retos para el abasto del recurso hídrico, que los acuíferos se encuentran con un alto índice de presión, CONAGUA reporta 96% para el acuífero de la Ciudad de México y 115% en el acuífero Cuautitlán-Pachuca, y que es necesario garantizar la dotación para los futuros dos millones de personas. Por ello la importancia de la evaluación de los proyectos de futuro abastecimiento.

## 5. Métodos de evaluación.

Para evaluar los proyectos de ingeniería es necesario priorizar los aspectos que este conlleva, es decir, si las ventajas que este trae a la zona son mayores a las desventajas que se presentan debido a su realización.

### *a) Evaluación Multicriterio.*

La evaluación tradicional dentro de la Ingeniería, generalmente consiste en una medición beneficio-costos, siendo así determinante el factor monetario.

La teoría de evaluación multicriterio comprende un conjunto de ideas, modelos y herramientas de apoyo a la toma de decisiones. No solo se aplica en el análisis de inversiones sino a distintos problemas en la gestión privada y pública (Arancibia Carvajal & Contreras Villablanca, 2016).

Es por tanto necesario que la metodología multicriterio seguida permita combinar lo objetivo, tangible y racional de la ciencia clásica con lo subjetivo, intangible y emocional del comportamiento humano. En este sentido, se puede conseguir un tratamiento objetivo de lo subjetivo, y con ello, alcanzar un tratamiento racional de lo emocional.

Esta teoría permite combinar distintas dimensiones objetivos, actores y escalas dentro del proceso de la toma de decisiones. Con lo anterior no se modifica la calidad, confiabilidad y conceso de resultados.

En lo que sigue, se entiende por Decisión Multicriterio (Moreno Jiménez, et al., 1998) como el conjunto de aproximaciones, métodos, modelos, técnicas y herramientas dirigidas a mejorar la calidad integral de los procesos de decisión seguidos por los individuos y sistemas, esto es, a mejorar la efectividad, eficacia y eficiencia de los procesos de decisión, y a incrementar el conocimiento de los mismos (valor añadido del conocimiento). De esta forma, las técnicas de Decisión Multicriterio permiten una resolución más realista y efectiva del problema sin tener que recurrir, como ocurre con los enfoques tradicionales a la rígida reducción a una escala monetaria.

La metodología resultante debería: (a) simple en su construcción; (b) adaptable a las decisiones individuales y en grupo; (c) en consonancia con nuestros pensamientos, valores e intuiciones; (d) orientada a la búsqueda del consenso y (e) que no requiera una especialización suprema para su aplicación (Saaty, 1994).

La evaluación multicriterio forma parte de muchos estudios dentro de la ingeniería como apoyo en la toma de decisiones. Como ejemplo de su uso en México, en el estado de Sonora, México, este fue utilizado para la priorización de necesidades de reemplazo de tubería en una red de distribución, logrando el incremento del porcentaje de tubería que cumple con las especificaciones de la CNA (Verduzco, et al., 2015).

### *b) Proceso Analítico Jerárquico*

Es un proceso para identificar, comprender y evaluar las interacciones de un sistema como un todo.

Una de las metodologías más usadas en la evaluación es el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process), la cual incorpora juicios y valores personales de manera lógica. Es un modelo flexible que permite a las personas o grupos conformar ideas y definir problemas haciendo sus propias suposiciones y extrayendo de ellas la solución deseada. Es un modelo útil para solucionar cuantitativamente los problemas (Arancibia Carvajal & Contreras Villablanca, 2016).

El proceso jerárquico depende de la imaginación, la experiencia y el conocimiento para estructurar la jerarquía de un problema y de la lógica, intuición y experiencia para emitir juicios. Para poder diseñar y estructurar la jerarquía que rige el método, se debe contar con experiencia y conocimiento del área en la cual se desea aplicar (Saaty, 1994).

Recomendaciones para utilizar el AHP en el sector público:

- Incorporar criterios de evaluación de diversa naturaleza (información mixta, de tipo cuantitativa y cualitativa y en escalas)
- Priorizar proyectos a nivel nacional, lo que implica potencialmente un gran número de proyectos.
- Ser compensatorios, es decir, que el mal desempeño en un criterio pueda ser compensado con un buen desempeño en otro.
- Incorporar las preferencias de los tomadores de decisión.

El Proceso Analítico Jerárquico permite llevar un problema multidimensional (multicriterio) a un problema en una escala unidimensional (escala de prioridades) en la que se representan las salidas globales. La síntesis de las escalas derivadas en el modelo jerárquico sólo se puede efectuar correctamente (Saaty, 1994).

Los individuos, en especial al tratar problemas poco estructurados no pueden tener certeza en los juicios que reflejan la importancia relativa de las alternativas. En la mayoría de los casos se desconocen, tanto el contexto global en el que se encuentra encuadrado el problema como las consecuencias de las actuaciones. Es por ello conveniente, flexibilizar el proceso de valoración permitiendo la incorporación de incertidumbre en los juicios dentro del mismo.

Un ejemplo del uso de esta herramienta lo observamos en el año 2004 en el caso del Programa de Gestión del Agua en la Subcuenca del Río Guayalejo-Tamesi en el estado de Tamaulipas donde se realizó la identificación de los ejes rectores de gestión y de 18 proyectos a desarrollar en la Subcuenca del Río Guayalejo-Tamesi (González Turrubiantes, et al., 2004).

Otro ejemplo del Proceso Analítico Jerárquico es el procedimiento utilizado en Almodóvar del río y Córdoba, en España, para crear una conceptualización del grado de gestión percibido por la comunidad, también se realizó un análisis para visualizar el impacto de las distintas alternativas de gestión hídrica implementado (Mesa, et al., 2008).

En León Guanajuato fue desarrollado un modelo de análisis multicriterio para el manejo de los recursos naturales en la cuenca de Lobos del municipio. Los temas alternativos de acción propuestos por los participantes y usuarios de la cuenca entrevistados fueron: organización, servicios ambientales, capacitación, cultura, reforestación, ordenamiento racional y cumplimiento de la ley, los cuales se analizaron con base en criterios económicos, técnicos, sociales y ecológicos. Los resultados mostraron que la alternativa "cultura", seguida de ordenamiento racional y cumplimiento de la ley fueron las más significantes.

# III. Metodología

El trabajo presentado es descriptivo y analítico por lo que todo se basa en información proporcionada por entidades gubernamentales e institutos dedicados a la investigación.

Para la generación de los criterios y la metodología en el análisis de las alternativas se utilizan la evaluación multicriterio y el proceso analítico jerárquico antes mencionado, los cuales dependen de la naturaleza hidráulica de los proyectos propuestos. Por ello se muestra la conceptualización de las tres propuestas, el proyecto Temascaltepec, la reimportación del agua del Valle de Mezquital y el proyecto Tecolutla-Necaxa.

## A. Recolección de datos

La información requerida para analizar las fuentes de abastecimiento alternativas para la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se obtuvo de fuentes oficiales, la mayor parte de ella disponible en informes publicados por dependencias de gobiernos, además de bases de datos de libre acceso disponibles en sitios oficiales e informes de investigación proporcionados por grupos de trabajo dentro de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La información obtenida se clasificó en los cuatro criterios a evaluar para así empezar a formar las matrices multicriterio.

## B. Conceptualización de los sistemas propuestos para nuevas fuentes de abastecimiento.

Para el caso de estudio de la ZMVM se consideran tres alternativas como fuentes de abastecimiento para los poco más de 23 millones de personas que habitarán el Valle de México en el año 2030.

Las estrategias oficiales se enfocan principalmente a soluciones para aumentar la cantidad de agua disponible, sobre todo con medidas convencionales para captar más fuentes de primer uso, como los trasvases de agua desde otras cuencas. En menor grado se abarcan soluciones para gestionar la demanda y la asignación del agua (Escolero Fuentes, et al., 2009). Para su análisis es necesario comprender en qué consiste cada uno de los proyectos.

## 1. Temascaltepec

Se encuentra en el área sur del Estado de México, ligeramente hacia el sureste de Toluca, en las coordenadas geográficas 100°02' longitud oeste y 19°03' de latitud norte. A una altura de 1,740 metros sobre el nivel del mar.

Se presenta como la cuarta etapa del Sistema Cutzamala, el cual trabaja por debajo de su capacidad de operación (24 m<sup>3</sup>/s), para aportar un caudal máximo de 6 m<sup>3</sup>/s. Se contempla captar los escurrimientos del río Temascaltepec en una presa con capacidad para almacenar 65 hm<sup>3</sup> y regular un flujo promedio de 5,000 l/s.

Además se prevé la construcción de una estación de bombeo con una capacidad de 15 m<sup>3</sup>/s para elevar el agua 240 metros, 12 kilómetros de canal superficial que incluye 5 kilómetros de tubería a presión y 11 kilómetros de túnel hasta la presa Valle de Bravo, punto en el que se integra al sistema (Escolero Fuentes, et al., 2009).

La construcción daría inicio en 1997 y la operación en el año 2000, sin embargo fue suspendida a causa de las serias restricciones sociales (Lemus, 2016).

Las comunidades localizadas en el área afectada por el proyecto Temascaltepec aducen que la construcción del túnel secará los manantiales El Naranjo, La Huerta, El Sombrero y El Chilar, y afectará la producción agrícola de la zona consistente en caña de azúcar, maíz, plátano, tomate, melón y chícharo.

Pese a lo anterior Temascaltepec está considerada por parte de las autoridades como la más viable para incrementar el abastecimiento en un corto plazo ya que aprovecharía la capacidad subutilizada del Sistema Cutzamala para su potabilización.

Debido al convenio firmado en 1976, que establece una dotación de 10.83 m<sup>3</sup>/s para el Estado de México, se necesita cubrir una entrega de aproximadamente 5 m<sup>3</sup>/s.

No obstante existen alternativas que no se han trabajado lo suficiente, como aprovechar la presa Madín, a la cual se le extrae actualmente 500 l/s con un sistema de potabilización muy deficiente, cuando se le podría extraer 1 m<sup>3</sup>/s, y a la presa Guadalupe donde 1.5 m<sup>3</sup>/s de agua se podrían distribuir por gravedad. Estos dos proyectos equivalen a la mitad del gasto que podría aportar el proyecto Temascaltepec, si se decidiese incorporarlo como una nueva fuente de abastecimiento de la zona metropolitana de la Ciudad de México (Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2012).

En la Ilustración 7 se muestra el perfil de elevaciones que pertenece al proyecto Temascaltepec.

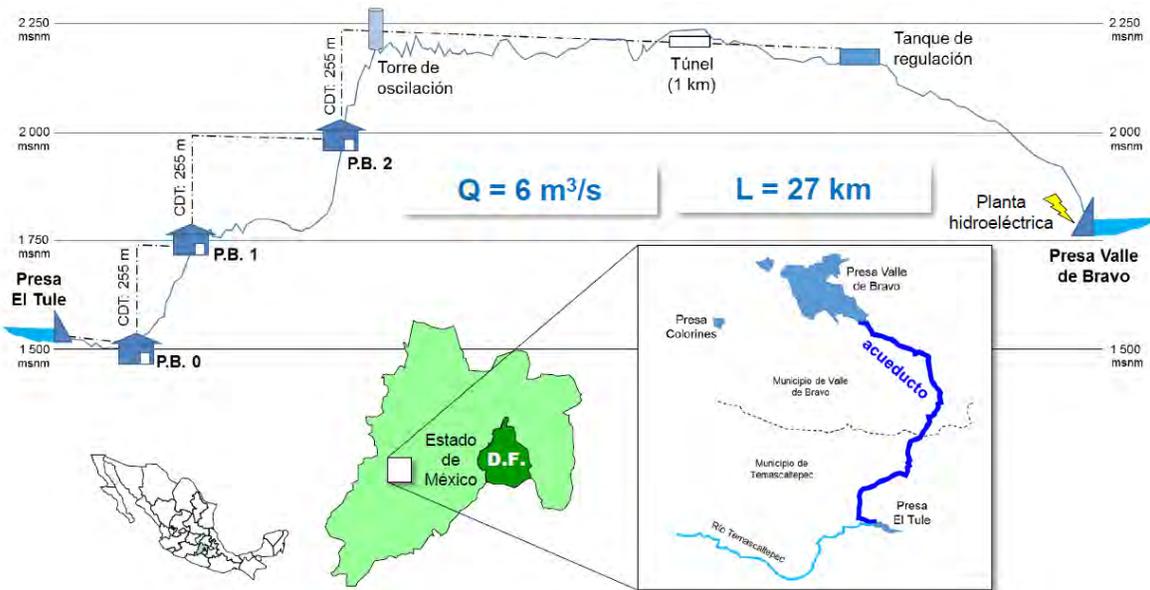


Ilustración 7. Perfil de elevaciones del proyecto Temascaltepec. CONAGUA, 2015.

## 2. El acuífero del Valle del Mezquital.

El área del proyecto se encuentra en lo que se denomina como Valle del Mezquital, en la porción central-sur del Estado de Hidalgo y en el límite con el Estado de México. Dista 40 kilómetros al poniente de la capital del Estado. Geográficamente se encuentra entre los paralelos 19° 30' y 20° 22' de latitud norte y entre los meridianos 98° 56' y 99° 37' de longitud oeste.

Desde el inicio del siglo XX, 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 y la evapotranspiración elevada. 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 m<sup>3</sup>/s (Pérez, et al., 2000).

La Ciudad de México está exportando alrededor de 32 m<sup>3</sup>/s de agua residual y 20 m<sup>3</sup>/s de agua pluvial a la Cuenca de Tula. El proyecto contempla el aprovechamiento del agua que fue descargada e infiltrada en el Valle de México (Escolero Fuentes, et al., 2009).

Se estima que de los 60 m<sup>3</sup>/s de agua utilizada para riego agrícola, 20% se infiltra y se recupera por medio de la construcción de pozos. De este volumen, 7.5 m<sup>3</sup>/s serían aprovechables, después de potabilizarlos por medio de membranas. De esta cantidad la CONAGUA se propone utilizar 2.5 m<sup>3</sup>/s en Hidalgo y reimportar 5 m<sup>3</sup>/s para los sistemas de agua potable en la Cuenca de México, principalmente el noroeste de Cuautitlán, el restante se enviaría al Macrocircuito<sup>4</sup> (Anexo 1). La infraestructura requerida contempla la construcción de plantas de bombeo para vencer un desnivel de 250 metros y plantas potabilizadoras, además de 150 pozos de extracción.

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 m<sup>3</sup>/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.

Del manantial “Cerro Colorado” brota un caudal de agua del orden de 1 m<sup>3</sup>/s en época de lluvia con una apariencia muy buena, siendo el agua muy clara y con mucho movimiento, de acuerdo con lo indicado por CONAGUA la calidad del agua cuando sale del manantial es buena, sin embargo a escasos 100 metros aguas abajo se encuentran acometidas de canales de irrigación que se mezclan con el agua que sale del manantial.

El estudio geohidrológico determinó que de esta zona se pueden disponer de 6 m<sup>3</sup>/s (en una primera etapa) (Jiménez, et al., 2002).

En la Ilustración 8 se muestra el perfil de elevaciones del anteproyecto que transportará agua del Valle del Mezquital al Tanque Chiconautla.

---

<sup>4</sup> Línea de distribución de agua de 138 kilómetros en su mayoría situado en el Estado de México.



Ilustración 8. Perfil de elevaciones del proyecto Valle del Mezquital. CONAGUA, 2015.

### 3. Tecolutla-Necaxa

Es un acueducto que extraerá recurso hídrico de las presas de Tenango, Nexapa, Necaxa, La Laguna y Los Reyes, el cual tendrá una longitud de 131 kilómetros, un desnivel de 1,467 metros y ocho plantas de bombeo, de acuerdo con datos preliminares

El río Necaxa nace a 13 km al noreste de la localidad de Paredón, Puebla, a una altitud de unos 3,000 msnm. Inicia su curso con rumbo noreste, 18 kilómetros aguas abajo se encuentra la estación hidrométrica El Carmen. 10 km aguas abajo se le une por su margen izquierda el arroyo Apaxtla, cuyas aguas son controladas en el vaso Laguna (o Tejocotal), cambia su rumbo este-noreste y a 15 km de la confluencia anterior está el vaso Necaxa, 2 kilómetros aguas abajo de este punto, fluye por su margen derecha el río Tenango, el cual originalmente se llama río Coacuila, 4 km antes de su afluencia con el río Necaxa, sus aguas son controladas en el vaso Tenango, de donde se derivan después hacia el vaso Necaxa por medio de un túnel.

El predio forestal donde se implementará el proyecto, está ubicado entre la región hidrológica 26 "Panuco" y 27 "Tuxpan -Nautla", dentro de las cuales se ubican la cuenca del río Cazones, río Moctezuma y río Tecolutla, con una superficie de 3,827.25 km<sup>2</sup>, 4,622.04 km<sup>2</sup> y 7,821.78 km<sup>2</sup> respectivamente. Así mismo en la cuenca del río Moctezuma se encuentran 4 subcuencas que corresponden a: (1) Río Meztitlan, (2) Río Tezontepec, (3) Lagos de Texcoco y Zumpango, (4) Lagunas Tochac y Tecocomulco. Las subcuencas Río Necaxa y Río Laxaxalpan corresponden a la cuenca Tecolutla y la subcuenca Río San Marcos a la cuenca Río Cazones.



las presas del sistema bajo y alto se obtendría un volumen total de 360 Hm<sup>3</sup>/año (aproximadamente 11.4 m<sup>3</sup>/s).

Las obras de tomas que abastecen el sistema se encuentran en Coahuila y El Carmen. En una zona antes de Tulancingo se ubicará el tanque de cambio de régimen desde dónde el agua fluirá por gravedad hasta el depósito que se proyecta construir en el Cerro de Chiconautla.

Por otro lado, la Coordinación General de Proyectos Especiales de Abastecimiento y Saneamiento ha estimado que el sistema Tecolutla-Necaxa se podría construir en dos etapas, la primera con un costo de 9 mil 478 millones de pesos o 13.73 pesos por metro cúbico y la segunda costaría 11 mil 300 millones de pesos. La entidad ejecutora será la CONAGUA. Por otra parte, la obra de este proyecto tendrá que interferir con el cruce de 12 ferrocarriles, 54 carreteras, 28 ductos de Pemex, 16 canales, 28 cauces y siete autopistas. (Anon., 2016)

Cuenta con la oposición de 13 pueblos del norte de Puebla, los que ya han pasado de la protesta social a las acciones judiciales para evitar lo que ellos llaman “el robo del agua”, que podría orillar a más de 250 mil poblanos al desabasto del vital líquido. También luchan con un grupo de trasnacionales que pretenden instalar al menos ocho hidroeléctricas para abastecer a las mineras que hay en la zona. En esa instancia sigue en pie el plan Tecolutla-Necaxa, el que está programado con una inversión de más de 37 mil millones de pesos, como parte del convenio del Gobierno federal con el de la Ciudad de México para atender la crisis de agua que se vive en la capital del país (Lemus, 2016).

### C. Formación de las matrices multicriterio.

Para generar el análisis de las posibles fuentes de abastecimiento para la ZMVM se implementa un modelo de puntuación, la cual es una metodología aditiva que califica en base a la suma de puntuaciones, la cual debe estandarizarse para lograr un sistema de evaluación mixta para comparar distintos tipos de atributos. Cada una de ellas se forma con la existencia de información de cada uno de los proyectos.

Para las calificaciones cuantitativas de los atributos, se indican sus valores y unidades. Mientras que para los atributos que se califican de manera cualitativa, la escala de calificaciones va del 1 al 5; en donde 5 representa la mejor calificación posible, ya sea por mayores beneficios aportados o por facilidad de implementación, mientras que 1 es la calificación más desfavorable, relacionada con afectaciones, bajos rendimientos y mayores

dificultades en la implementación. Entonces, mientras mayor sea una calificación, mayor será la viabilidad del proyecto.

## 1. Aspectos técnicos

Los aspectos técnicos de un proyecto son las alternativas que constituyen su presencia física y sistema integral de producción.

Para la construcción de la metodología en los aspectos técnicos se presentan los criterios de la Tabla 2.

*Tabla 2. Criterios técnicos a evaluar.*

<b>Criterio</b>	<b>Tipo de calificación</b>	<b>Unidades</b>
<b>Caudal disponible</b>	Cuantitativa	m <sup>3</sup> /s
<b>Interconexión con el sistema</b>	Cualitativa	-
<b>Proceso constructivo</b>	Cualitativa	-

El caudal disponible de un cuerpo es la cantidad de agua aprovechable, expresada en volumen por unidad de tiempo, para determinar los beneficios del efluente.

Para la evaluación de la interconexión con el sistema debe considerar si la aportación del proyecto puede ser absorbida sin ningún problema por el sistema existente, así como la ubicación de la recepción del proyecto en ejecución. Además se deben analizar los cruces con las vías de comunicación y de transporte existentes.

El proceso constructivo se refiere a la técnica y las etapas de la obra. Deben considerarse los accesos y el movimiento de tierras en el conjunto de operaciones que se realizan con los terrenos naturales, a fin de modificar las formas de naturaleza. Además se contemplan las características geológicas, que definen la estabilidad de la excavación y por lo tanto el procedimiento constructivo, la disponibilidad de bancos de préstamo de materiales y la seguridad de la infraestructura vecina.

### *a) Calificación*

La evaluación del caudal es cuantitativa.

El puntaje de la interconexión con el sistema de abastecimiento actual, debido a su naturaleza cualitativa, se otorgó de la siguiente forma:

1. Para el proyecto que no cuenta con la existencia de un lugar definido de entrega ni infraestructura de conexión.
2. Existen opciones de punto de entrega, pero sin haberse definido claramente por alguna y no hay por tanto infraestructura de interconexión adecuada.
3. Existe punto de entrega definido, pero no hay infraestructura de interconexión.
4. Ya existe punto de entrega definido y de interconexión, pero se requiere de adecuaciones (conexiones, ampliación, tanques, etc.).
5. Ya existe punto de entrega y ya hay infraestructura de conexión a la red primaria de distribución de la ZMVM.

La calificación del proceso constructivo se estableció de la siguiente manera:

1. El proceso constructivo es novedoso y requiere de equipo y materiales especiales que deben ser importados así como de mano de obra altamente especializada
2. El proceso constructivo es complejo, pero ya se ha usado con anterioridad. Requiere de equipo especial y mano de obra especializada.
3. Proceso convencional, pero requiere de un gran esfuerzo de logística, maquinaria y personal. En esta categoría se encuentra la construcción de presas, como en el caso de Temascaltepec.
4. El proceso es técnicamente simple, pero las maniobras requieren una intensiva logística. Es similar a proyectos como el de Valle del Mezquital.
5. El proceso es técnicamente simple y las maniobras requieren poca logística.

## 2. Aspectos sociales

Los aspectos sociales evalúan el impacto de los efectos que se tendrá en cada proyecto en los diferentes grupos sociales existentes, además de las reacciones por parte de estos, en cada comunidad afectada.

*Tabla 3. Criterios sociales a evaluar.*

<b>Criterio</b>	<b>Tipo de calificación</b>	<b>Unidades</b>
<b>Viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición</b>	Cualitativa	-
<b>Estatus de la gestión para la adquisición de predios influidos por el proyecto</b>	Cualitativa	-
<b>Pago anual por trasvase entre cuencas</b>	Cuantitativa	Millones de pesos

En la viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición se analiza el “peso” de cada uno de los grupos sociales existentes.

En el estatus de la gestión para la adquisición de predios influidos por el proyecto se analizan los trámites de expropiación o la compra de predios involucrados.

En el pago anual por trasvase de cuencas se analiza el costo por las afectaciones de este intercambio.

#### *a) Calificación*

La calificación de la viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición se otorga de acuerdo con:

1. Si la viabilidad del aspecto social no es evidente, no existe acercamiento, ni proceso de negociación, persisten declaraciones y manifestaciones que propician un clima social tenso, y la medida por parte del promovente respecto al avance del proyecto.
2. Si la viabilidad del aspecto social está lejos de lograrse. Existen aisladas manifestaciones de rechazo al proyecto y no hay acercamiento alguno entre las partes involucradas.
3. Si la viabilidad del aspecto social es incierta pues no existe acercamiento por parte del promovente, ni por parte de localidades o comunidades ubicadas en la zona de influencia del proyecto. No están bien identificados los actores políticos o sociales.
4. Si la viabilidad del aspecto social es favorable pues hay intención de ambas partes en conflicto por entablar negociaciones, las cuales aún no se dan o empiezan a gestarse.

5. Si la viabilidad del aspecto social es evidente pues, se han tenido avances en las negociaciones, propuestas de solución para los conflictos y estas marchan hacia buen puerto a la par con las etapas previstas del proyecto.

El estatus de la gestión para la adquisición de predios influidos por el proyecto tiene la siguiente escala calificadora.

1. La gestión sobre la adquisición (expropiación o compra-venta) de los predios ubicados en la zona de influencia de los proyectos se encuentra en un avance menor al 30%, con incertidumbre sobre el régimen de tenencia de la tierra en la mayor parte del área de influencia.
2. La gestión sobre la adquisición (expropiación o compra-venta) de los predios ubicados en la zona de influencia de los proyectos se encuentra en un avance entre el 30 y 60%. Con identificación de los predios y los regímenes de propiedad, así como la identificación parcial de propietarios.
3. El avance en este aspecto está entre el 60 y 80%. Con identificación de los predios y los regímenes de propiedad, así como la identificación parcial de propietarios.
4. La gestión sobre la adquisición (expropiación o compra-venta) de los predios ubicados en la zona de influencia de los proyectos se encuentra en más del 80%. Puede ya haber algunos acercamientos iniciales para la adquisición de las tierras.
5. La gestión sobre la adquisición (expropiación o compra-venta) de los predios ubicados en la zona de influencia de los proyectos se encuentra prácticamente al 100% y ya existen acercamientos para la adquisición de las tierras.

El atributo de pago anual por trasvase entre cuencas incluye el costo del "Pago de Derechos por Traspase entre Cuencas". El atributo ayuda a identificar cuál de los proyectos requiere una menor inversión en este rubro, que se destinará junto con otros montos para la implementación de obras inducidas de mejoramiento (principalmente agua y/o drenaje) y otras obras específicas en aquellos municipios en donde se anticipan impactos mayores. Se evalúa en millones de pesos, estimados a partir de los montos de inversión asociados a cada proyecto.

### 3. Aspectos económicos

La viabilidad de un proyecto depende en gran medida del costo y los beneficios económicos que se esperan obtener del proyecto.

La decisión final de aceptar o rechazar un proyecto de inversión depende también de otras consideraciones; sin embargo, la evaluación económica está en posibilidades de cuantificar todos los costos y beneficios que afecten directa e indirectamente al proyecto.

Tabla 4. Criterios económicos a evaluar.

Criterio	Tipo de calificación	Unidades
<b>Costo de operación</b>	Cuantitativa	Millones de pesos
<b>Monto de la inversión</b>	Cuantitativa	Millones de pesos
<b>Costo de potabilización</b>	Cuantitativa	Pesos/m <sup>3</sup>

El monto total está dado por el costo total asociado a la construcción de las obras de captación y el aprovechamiento del agua. Se considera también los montos por compra de propiedades, expropiaciones e indemnizaciones.

En los costos de operación se contempla el costo anual de los trabajos además del generado por las acciones necesarias para la correcta operación de las instalaciones y equipos de proyecto. Dependiendo de las especificaciones técnicas del equipo para cada uno de los proyectos es posible determinar el costo del consumo eléctrico para operar las bombas de agua.

El costo de potabilización es el asociado al acondicionamiento y desinfección del agua para llevarla a un grado potable.

*a) Calificación.*

La calificación de los atributos económicos se otorga de acuerdo a la naturaleza del proyecto y a su carácter cuantitativo.

Para el análisis del costo de operación se contemplan las acciones de operar la explotación de agua, que incluye los costos de energía, personal y mantenimiento.

Para obtener el monto de inversión, el cual es el costo de construcción de los proyectos se analizan los tres proyectos:

- Alternativa Temascaltepec – Acueducto Superficial; se considera el costo de construcción de la presa “El Tule” con sus caminos de acceso, el bordo ecológico, el

sistema de bombeo y un acueducto de 42 km desde la presa “El Tule” hasta la presa Colorines.

- Proyecto Tecolutla-Necaxa, se consideran los costos de las dos etapas del proyecto, incluyendo los costos de la actualización de la infraestructura existente, los trabajos de construcción del acueducto de 131 km desde Necaxa Pue. hasta Chiconautla, Mex., la construcción de la planta de tratamiento al sur del embalse “La Laguna”, las estaciones de bombeo y otras obras destinadas al funcionamiento seguro del proyecto.
- Proyecto Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, incluye los costos de la perforación de los 143 pozos, más el estimado obtenido de los costos de instalación de tuberías (interconexión de pozos y acueducto) que se obtuvo parametrizado con la información de los proyectos Tecolutla-Necaxa y Temascaltepec. Además se incluyen los datos parametrizado a partir de la presa El Tule, para estimar el costo posible de la construcción de una presa en la localidad de Chicvasco a unos 8 km al sur de Actopan.

Para analizar el costo de potabilización se considera la calidad del agua de cada proyecto:

- Para la alternativa Temascaltepec, se considera la adecuación de la planta de potabilización “Los Berros” (que es parte del Sistema Cutzamala).
- En el caso del proyecto Tecolutla-Necaxa se toman en cuenta los datos del anteproyecto elaborado por INCISA.
- En el caso del proyecto Valle del Mezquital, por tener el agua que se prende aprovechar su origen en las aguas negras de la ZMVM con las que se han regado por décadas tierras de cultivo en esta zona hidalguense, agua que aunque se ha filtrado a través del terreno presenta todavía algunos indicadores de fuerte de contaminación y que se prevé por tanto que su tratamiento será el más caro por requerir de nanofiltración u osmosis inversa, que lleva el costo a \$6.00/m<sup>3</sup>.

#### 4. Aspectos ambientales

De acuerdo con la legislación ambiental vigente aplicable, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en su artículo 28, así como en su Reglamento en materia de Evaluación del Impacto Ambiental Federal, queda establecido que se deberán evaluar todos aquellos proyectos que pudieran ocasionar contaminación o deterioro en el ambiente.

De acuerdo con la LGEEPA, el Impacto Ambiental es el efecto que tiene una acción del hombre o de la naturaleza sobre un ambiente.

La evaluación de impacto ambiental es un procedimiento jurídico-administrativo de recogida de información, análisis y predicción destinada a anticipar, corregir y prevenir los posibles efectos directos e indirectos que la ejecución de una determinada obra o proyecto causa sobre el medio ambiente, debe realizarse en la fase previa al proyecto.

En las matrices se compara la existencia o permanencia de los elementos naturales de los que se disponen en un municipio para su explotación y/o comercialización o para fines recreativos.

*Tabla 5. Criterios ambientales a evaluar.*

<b>Criterio</b>	<b>Tipo de calificación</b>
<b>Cambios en la producción de bienes comerciales</b>	Cuantitativa
<b>Cambios en la calidad ambiental y efectos en la salud</b>	Cuantitativa
<b>Pérdida del valor de la existencia o legado</b>	Cuantitativa
<b>Recreación</b>	Cuantitativa

Para la evaluación, el atributo de cambios en la producción de bienes comerciales toma en cuenta el cambio en la cantidad o disponibilidad regional de bienes naturales transables (susceptibles de comercializarse) al perderse, reducirse o modificarse los ecosistemas en donde estos bienes naturales se explotan.

Para cambios en la calidad ambiental y efectos en la salud se contemplan las afectaciones a la salud producto de la emisión de contaminantes, bien sean físicos o químicos.

En el atributo de pérdida del valor de la existencia o legado se califican las afectaciones en área del municipio por parte del proyecto.

En el atributo de recreación se califican las afectaciones o cambios en la cantidad o disponibilidad que pueden existir en las zonas existentes destinadas a actividades recreativas.

### a) Calificación

El atributo cambios en la producción de bienes comerciales se expresa como índice fraccionario que se obtiene de dividir la ganancia monetaria que se prevé exista tras la intervención entre la ganancia monetaria antes de la intervención. En el caso de que no se tengan los estimados adecuados de cuánto dinero reporta la comercialización de cierto producto natural, se puede obtener un índice que guardará la misma proporción al dividir los m<sup>3</sup> de un producto o bien las toneladas o bien las piezas/área, después de la intervención entre las que había antes de la intervención.

Las afectaciones a la salud producto de la emisión de contaminantes, bien sean físicos (ruido, radiaciones, etc.) o químicos (As, Hg, SDT, etc.) o biológicos (E. Colli, huevos de helminto, etc.), se expresan como Índice de Presencia de Elementos Contaminantes, que se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Presencia de Elementos Contaminantes} = \frac{\text{presencia de contaminantes antes} - \text{presencia de contaminantes después}}{\text{presencia de un elemento contaminante después de la intervención}}$$

Si no se presenta un incremento en los niveles de contaminación o afectación a la salud, se califica con cero, en el caso de que la intervención produzca una afectación, esta tendrá un valor negativo que representara el porcentaje de incremento de un elemento contaminante a manera de demerito. Por otra parte si la intervención contempla la implementación de alguna medida que reduzca la presencia de algún elemento contaminante del entorno, entonces el valor obtenido será positivo y se considerará como un impacto benéfico (o mejora).

El atributo de pérdida del valor de la existencia o legado se califica a través del índice denominado Índice de Persistencia del Elemento Natural, que representa un elemento natural en extensión tomando en consideración el estado inicial y final. Al igual que para el atributo anterior, al tratarse de un índice, es adimensional y mientras más grande sea el índice mejor calificado estará el atributo, en donde un valor de uno equivale al 100% de persistencia del elemento natural considerado como valor de legado.

El atributo recreación toma en cuenta el cambio en la cantidad o disponibilidad regional de los elementos naturales y ambientales relacionados con actividades recreativas, tales como; balnearios, sitios escénicos, lugares para excursionismo, escalada, pesca e inclusive cacería. Este atributo se expresa como un índice fraccionario, denominado índice de cambio en la actividad recreativa, que se obtiene al dividir la ganancia monetaria que se prevé exista tras la intervención entre la ganancia monetaria antes de la intervención. En el caso de que no

se tengan los estimados adecuados de cuánto dinero reporta la comercialización de cierto producto natural, se puede obtener un índice que guardará la misma proporción al dividir el área intervenida entre el área que había antes de la intervención, o bien el volumen o piezas/área disponibles para desarrollar la actividad recreativa que se prevé habrá tras la intervención, entre lo reportado hasta antes de la intervención. Al tratarse de un índice, es adimensional y mientras más grande sea el índice mejor calificado estará el atributo. Cuando el valor del índice es uno, ello significa que no hay cambios en la cantidad o extensión de los elementos del ambiente natural relacionados con las actividades recreativas.

#### D. Normalización de matrices

El Proceso de Análisis Jerárquico trata directamente con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de elementos en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión.

El proceso pide señalar la preferencia o prioridad con respecto a cada alternativa de decisión en términos de la medida en la que contribuya a cada criterio. Las comparaciones pareadas son bases fundamentales del proceso, se utiliza una escala subyacente para calificar las preferencias relativas de los dos elementos.

El procedimiento para sintetizar juicios se presenta a continuación:

1. Sumar los valores en cada columna de la matriz de comparaciones pareadas.
2. Dividir cada elemento de tal matriz entre el total de su columna; a la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada.
3. Calcular el promedio de los elementos de cada renglón de las prioridades relativas de los elementos que se comparan.

Se consideran las prioridades de cada criterio en términos de la meta global.

Una consideración importante en términos de la calidad de la decisión final se refiere a la consistencia de los juicios que muestra el tomador de decisiones en el transcurso de la serie de comparaciones pareadas.

La construcción de la normalización de las matrices se muestra en el Anexo 2.

## IV. Análisis de resultados

### A. Aplicación: Zona Metropolitana Valle de México

De acuerdo a lo descrito en la formación de las matrices multicriterio presenta lo siguiente:

#### 1. Análisis técnico

En la Tabla 6 se presentan los valores correspondientes a las características técnicas a evaluar, establecidas en el capítulo de metodología. Los valores presentados surgen de la clasificación de la información obtenida para cada una de las tres alternativas de futuras fuentes de abastecimiento de la ZMVM.

Tabla 6. Calificación de los atributos del criterio técnico.

Criterio	Orden de ejecución con respecto a los atributos evaluados		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Caudal disponible</b>	4.5 m <sup>3</sup> /s	9.0 m <sup>3</sup> /s	11.3 m <sup>3</sup> /s
<b>Interconexión con el sistema</b>	4	3	2
<b>Proceso constructivo</b>	3	2	3

En la tabla 7 se presentan las calificaciones finales ponderadas, las cuales se obtienen después de la normalización de matrices (Metodología y Anexo 2).

Tabla 7. Calificación ponderada de los atributos del criterio técnico.

Criterio	Ponderación	Calificación ponderada		
		Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Caudal disponible</b>	40.33%	-0.44	0.09	0.35
<b>Interconexión con el sistema</b>	37.38%	0.37	0.00	-0.37
<b>Proceso constructivo</b>	22.30%	0.13	-0.26	0.13

En la Tabla 8 se presenta el orden de ejecución correspondiente a cada una de las alternativas, dependiendo de los valores presentados anteriormente.

Tabla 8. Orden de ejecución con respecto a los atributos del criterio técnico.

Criterio	Orden de ejecución con respecto a los atributos evaluados		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Caudal disponible</b>	3°	2°	1°
<b>Interconexión con el sistema</b>	1°	2°	3°
<b>Proceso constructivo</b>	1°	3°	2°

*a) Temascaltepec*

El caudal que se puede explotar es de 3.5 m<sup>3</sup>/s para abastecimiento de la ZMVM y un 1 m<sup>3</sup>/s para el Valle de Toluca<sup>5</sup>.

En cuanto a la interconexión con el sistema actual, la calificación es favorable ya que se aprovecha parte de la infraestructura existente del sistema Cutzamala, cuya capacidad es subutilizada, pero se requieren trabajos de actualización para manejar un mayor caudal.

El proceso constructivo se considera de dificultad intermedia, incluyendo la construcción de la Presa El Tule, como ya se mencionó en la conceptualización del proyecto Temascaltepec, este ya contaba con antecedentes desarrollados en papel para la ejecución de la obra.

*b) Valle del Mezquital*

El caudal aprovechable de este proyecto es de 6.5 m<sup>3</sup>/s para la ZMVM además de 1 m<sup>3</sup>/s que se quedarán en ruta y 1.5 m<sup>3</sup>/s utilizados para rechazo por parte del proceso de potabilización, con esto se obtiene un total de 11.3 m<sup>3</sup>/s.

---

<sup>5</sup> Acuerdo firmado en 1997 por la Ciudad de México con el Estado de México

La calificación otorgada en cuanto a la interconexión con el sistema se considera media debido a que el agua proveniente del Valle del Mezquital se conectaría al Macrocircuito, y faltaría construir en Chiconautla un tanque con capacidad de 250,000 m<sup>3</sup> en una cota de 2,400 msnm.

El proceso constructivo no se muestra favorable debido a que se requiere la construcción de varios campos de pozos que requieren de unos 200 kilómetros lineales de interconexiones y puede ser necesaria la construcción de una presa. Con respecto al proceso de potabilización del agua se plantea necesaria la implementación de tecnología de nanofiltración debido al origen del agua.

*c) Tecolutla Necaxa*

Para este proyecto se pueden explotar 9 m<sup>3</sup>/s para la ZMVM y 2.3 m<sup>3</sup>/s en ruta para los estados de Puebla e Hidalgo.

La interconexión con el sistema de abastecimiento actual no es favorable puesto que se requiere de la construcción de un acueducto de unos 131 con los accesorios necesarios para librar una diferencia de cotas de más de 1467 metros.

El proceso constructivo se considera de dificultad intermedia por la longitud del acueducto y el equipamiento necesario para vencer la diferencia de cotas, así como la construcción de una gran planta de potabilización y bombeo en un área de 55 Ha al sur de “La Laguna”. Aunque cabe hacer notar que se aprovechara la infraestructura de captación ya existente (presas La Laguna, Los Reyes y presa Necaxa).

2. Análisis social.

En la tabla 9 se presentan las calificaciones otorgadas a cada uno de los proyectos evaluados, la escala de calificación fue establecida en el capítulo de metodología.

*Tabla 9. Calificación de los atributos del criterio social.*

Criterio	Calificación		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición</b>	3	2	2

Criterio	Calificación		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Estatus de la gestión para la adquisición de predios influidos por el proyecto</b>	1	2	3
<b>Pago anual por trasvase entre cuencas</b>	\$53.55 MDP	\$87.73 MDP	\$137.69 MDP

Los datos cuantitativos presentados fueron obtenidos de anteproyectos que sirvieron como apoyo para la realización de este trabajo.

En la tabla 10 se presentan las calificaciones ponderadas obtenidas finalmente.

*Tabla 10. Calificación ponderada de los atributos del criterio social.*

Criterio	Ponderación	Calificación ponderada		
		Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición</b>	31.12%	0.36	-0.18	-0.18
<b>Estatus de la gestión para la adquisición de predios influidos por el proyecto</b>	19.56%	-0.20	0.00	0.20
<b>Pago anual por trasvase entre cuencas</b>	49.32%	0.46	0.06	-0.52

La tabla 11 nos muestra el orden a ejecutar en cuanto a implementación de las propuestas obtenido de los datos anteriores.

Tabla 11. Orden de ejecución con respecto a los atributos del criterio social.

Criterio	Orden de ejecución con respecto a los atributos evaluados		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición</b>	1°	2°	3°
<b>Estatus de la gestión para la adquisición de predios influidos por el proyecto</b>	3°	2°	1°
<b>Pago anual por trasvase entre cuencas</b>	1°	2°	3°

*a) Temascaltepec*

En cuanto a la viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición existen manifestaciones en las que los pobladores de San Pedro Tenayac piden informes de la intensión de retomar el proyecto, en virtud de que ellos mismos apoyaron al acueducto, como una mejor opción al túnel.

Se requiere estudio de actualización para conocer a los titulares de los predios influidos por el proyecto, y así poder determinar el estatus de la gestión de adquisición de predios influidos por el proyecto. Al momento se ha identificado el régimen de tenencia de la tierra.

El pago anual por trasvase entre cuencas contempla mejora de sistemas de agua, drenaje y otras obras en Temascaltepec, Oztoloapan, y Santo Tomas. Se prevé menor aportación en Zacazonapan pues en 2009 se les entregó la presa “San Andrés”. Este proyecto deja en el Valle de Toluca 1 m<sup>3</sup>/s.

*b) Valle del Mezquital*

Se anticipa que exista oposición por parte de habitantes de la localidad de San Juan Tepa, quienes aprovechan el agua de un dren producto del superávit del acuífero, en el mismo municipio de Francisco I. Madero, hay antecedente de un conflicto en Tepatepec en donde impidieron la perforación de un pozo de prueba.

Se tienen identificados los predios en los que sería factible la implementación de las baterías de pozos, sin embargo no es información definitiva y no se conocen algunos propietarios.

Obras de mejora del distrito de riego 003 (sin implicar revestimiento de canales), mejoramiento de caminos, mejora y ampliación de la cobertura de las redes de agua potable en los Municipios de Tezontepec, Francisco I. Madero, Mixquiahuala y Actopan.

### c) *Tecolutla-Necaxa*

Entre los opositores al proyecto están algunos habitantes que se declaran independientes, en el Mpo. Juan Galindo, así como también el “Frente para la Defensa de Necaxa”. Siendo el principal argumento la afectación de áreas naturales, pidiendo que exista una consulta pública. Por otra parte, todavía existen fricciones con el SME.

Ya se tiene identificados los usos de suelo y la propiedad de todos los predios a través de los cuales pasará el proyecto.

Este proyecto deja 2.3 m<sup>3</sup>/s de agua en ruta principalmente para los municipios hidalguenses (zonas de Tulancingo y Tizayuca-Pachuca). Además implicaría obras de mejora de redes de agua potable y de drenaje a lo largo de los doce municipios que el proyecto atraviesa.

### 3. Análisis económico.

La Tabla 12 presenta los costos y montos pertenecientes a las tres propuestas, estos fueron obtenidos de distintos anteproyectos.

*Tabla 12. Calificación de los atributos del criterio económico.*

Criterio	Calificación		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Costo de operación</b>	\$689.42 MDP	\$133.71 MDP	\$1,576.10 MDP
<b>Monto de la inversión</b>	\$6,684.64 MDP	\$12,517.86 MDP	\$18,593.61 MDP
<b>Costo de potabilización</b>	\$99.34 MDP	\$1,299.90 MDP	\$250.60 MDP

En la Tabla 13 se observan las calificaciones ponderadas del criterio económico.

Tabla 13. Calificación ponderada de los atributos del criterio económico.

Criterio	Ponderación	Calificación ponderada		
		Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Costo de operación</b>	0.06	0.26	0.00	-0.26
<b>Monto de la inversión</b>	0.26	0.06	0.38	-0.44
<b>Costo de potabilización</b>	0.23	0.23	-0.38	0.15

La Tabla 14 nos muestra el orden de ejecución propuesto para el desarrollo de las tres alternativas de acuerdo con los atributos del criterio económico.

Tabla 14. Orden de ejecución con respecto a los atributos del criterio económico.

Criterio	Orden de ejecución con respecto a los atributos evaluados		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Costo de operación</b>	1°	2°	3°
<b>Monto de la inversión</b>	2°	1°	3°
<b>Costo de potabilización</b>	1°	3°	2°

*a) Temascaltepec*

El costo de operación es generado con información del antepresupuesto, basado en los conceptos actualizados de la opción denominada “Conducción Alta a la Presa Colorines Alternativa B”, del Estudio de gran visión para la conducción superficial del agua de la presa El Tule (1998) y que incluye la potabilización, el mantenimiento y el consumo de energía eléctrica para bombear de la presa El Tule a la Presa Colorines.

El monto de la inversión considera el costo de construcción de la presa “El Tule” y del acueducto superficial que llevará el agua hasta la presa “Colorines”, incluyendo la construcción de caminos de servicio y el pago de afectaciones.

Costo de potabilización: con información de la planta “Los Berros”.

### *b) Valle del Mezquital*

El costo de operación es parametrizado a partir de los conceptos descritos en los estudios de FG y Asoc. (2009) y de Lesser y Asoc. (2013). Así como el costo promedio para la potabilización con tecnología de nanofiltración o de osmosis inversa. Incluye también los costos de consumo eléctrico por concepto de bombeo de los campos de pozos a la Presa “Chicavasco” y bombeo de la potabilizadora Jilotzingo al Cerro Chiconautla.

El monto de inversión es el costo total del proyecto, que incluye la construcción de 143 pozos de 200 m de profundidad, interconexiones, acueducto, tanques, equipos y construcción de la presa Chicavasco (parametrizado a partir de los datos de la presa “El Tule”).

Por su origen en aguas residuales se prevé que el tratamiento del agua requiera de nanofiltración y/u osmosis inversa con un costo de por lo menos \$6/m<sup>3</sup>.

### *c) Tecolutla-Necaxa*

Basados en información del anteproyecto presentado por INCISA en 2013, se contempla el costo de operación, que incluye los costos de mantenimiento, potabilización y consumo de energía eléctrica para bombear hacia la potabilizadora los caudales correspondientes a Presa Necaxa, Presa los Reyes y Presa La Laguna, así como el consumo para bombear desde la potabilizadora hasta Cerro Chiconautla.

El monto total de inversión incluye costos de construcción de las obras de toma, construcción de acueductos, planta potabilizadora y caminos, así como el pago de indemnizaciones (INCISA 2013).

El costo anual relacionado con la potabilización contempla un proceso de tratamiento convencional constituido por las operaciones de floculación, sedimentado y filtración.

## 4. Análisis ambiental.

La Tabla 15 nos muestra los valores obtenidos para las diferentes propuestas de fuentes de abastecimiento con el procedimiento descrito en el capítulo de metodología.

Tabla 15. Calificación de los atributos del criterio ambiental.

Criterio	Calificación		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Cambios en la producción de bienes comerciales</b>	1.00	0.95	1.00
<b>Cambios en la calidad ambiental y efectos en la salud</b>	-3.2	-6.50	-6.0
<b>Pérdida del valor de la existencia o legado</b>	0.83	0.97	0.97
<b>Recreación</b>	1.00	0.94	1.00

En la Tabla 16 se observan las calificaciones ponderadas para el criterio ambiental.

Tabla 16. Calificaciones ponderadas para el criterio ambiental.

Criterio	Ponderación	Calificación ponderada		
		Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Cambios en la producción de bienes comerciales</b>	12.10%	0.07	-0.14	0.07
<b>Cambios en la calidad ambiental y efectos en la salud</b>	38.03%	0.43	-0.27	-0.16
<b>Pérdida del valor de la existencia o legado</b>	31.64%	-0.37	0.18	0.18
<b>Recreación</b>	18.23%	0.11	-0.21	0.11

Siendo el orden de ejecución el mostrado en la Tabla 17.

Tabla 17. Orden de ejecución con respecto a los atributos del criterio ambiental.

Criterio	Orden de ejecución con respecto a los atributos evaluados		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Cambios en la producción de bienes comerciales</b>	1°	3°	2°
<b>Cambios en la calidad ambiental y efectos en la salud</b>	1°	3°	2°
<b>Pérdida del valor de la existencia o legado</b>	3°	1°	2°
<b>Recreación</b>	1°	3°	2°

a) *Temascaltepec*

Para el análisis de los cambios de la producción de bienes comerciales se contempla que las áreas a lo largo del trazo en donde se ejecutará el proyecto, son sitios ya alterados y no se prevén afectaciones mayores a la actividad agropecuaria ni forestal.

En cuestiones de calidad ambiental y efectos en la salud se prevé que para la zona cercana a la planta de bombeo haya un incremento en los niveles de ruido, mientras que en las inmediaciones de la Potabilizadora “Los Berros” se prevé aumento de ruido y de lodos de tratamiento.

En las cuestiones de pérdida del valor agregado de la existencia o legado la presa El Tule causará la alteración permanente al Río Temascaltepec y afectaría además a especies de interés como la nutria, considerada especie amenazada. El acueducto superficial, implica la alteración de la vegetación del terreno a lo largo del trazo, que incluye 19% de Área de Protección.

Al crear la presa "El Tule" se podría tener un espacio recreativo y por tanto se tendrá impacto positivo, sin embargo el acueducto superficial alteraría la estética del entorno.

### *b) Valle del Mezquital*

La afectación es baja en cuestiones de cambios en la producción de bienes comerciales, pero en municipios específicos como Mixquiahuala y Tezontepec, se prevén pérdidas en la acuicultura y agricultura, además de que se prevé una posible reducción en la producción piscícola de la presa Zimapán.

En toda la zona de las baterías de pozos se espera un aumento hasta del 50% en los niveles de ruido, en Jilotzingo se prevé aumento de ruido y de lodos de tratamiento asociado a la potabilizadora, lo cual impacta en la calificación asignada en el atributo que analiza los cambios en la calidad ambiental y efectos en la salud.

El proyecto se realiza sobre todo en áreas ya impactadas por la actividad humana, sin embargo, en Mixquiahuala y Tezontepec, se esperan pérdidas en manantiales y alumbramientos, también se prevé la pérdida del afloramiento “Dren Tepa-Lagunilla”, lo que afecta en el atributo de pérdida del valor de existencia o de legado.

La estética del lugar se verá poco afectada por el proyecto, sin embargo la disminución de caudales en los balnearios afectaría la recreación.

### *c) Tecolutla Necaxa*

No se tiene afectación en los cambios de la producción de bienes económicos, no disminuye la producción de truchas arcoíris en las granjas acuícolas aguas arriba, a 7km de la estación hidrométrica Coacuila sobre el Río Tenango, (antes Río Coacuila). La afectación a las industrias agropecuaria y forestal es mínima.

En las inmediaciones de las plantas de bombeo, en Cuatepec de Hinojosa, Huachinango y en especial Juan Galindo, se prevé un aumento del ruido y en Acaxochitlan se prevé aumento de ruido y producción de lodos de la potabilizadora, lo que afecta la calificación en el atributo de calidad ambiental y efectos en la salud.

El proyecto no afectará la parte recreativa, porque la obra de toma estará resguardada, aunque el acueducto causará cierta alteración de la estética del entorno.

## *5. Alternativas de fuentes de abastecimiento de agua para la ZMVM*

Debido a que la normalización de las Matrices multicriterio con ayuda del Proceso Analítico Jerárquico permite sumar los distintos criterios aquí analizados, se muestra la Tabla 18:

Con base el criterio técnico, social, económico y ambiental se establece que el proyecto con mayor puntaje (1.48, -0.72, -0.76, respectivamente) corresponde a la importación de agua del río de Temascaltepec, seguido del proyecto del Valle del Mezquital y como tercera opción se presenta el proyecto Tecolutla-Necaxa.

La peor calificación que recibe el proyecto Temascaltepec es debido al caudal disponible, ya que de los tres proyectos es el que menor recurso puede aportar por segundo. Para el caso del Valle del Mezquital la peor calificación que presenta se debe a que el proceso de potabilización necesitará de un tratamiento de nanofiltración y/u ósmosis inversa. La peor calificación que presenta el proyecto Tecolutla Necaxa se da en el análisis de pago de trasvase de cuencas debido a que se necesita la mejora del distrito de riego y la implementación de mejoras en algunos municipios.

Tabla 18. Calificación ponderada de los criterios para las alternativas de nuevas fuentes.

	Criterio	Ponderación	Calificación ponderada		
			Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Técnico</b>	Caudal disponible	40.33%	-0.44	0.09	0.35
	Interconexión con el sistema	37.38%	0.37	0.00	-0.37
	Proceso constructivo	22.30%	0.13	-0.26	0.13
<b>Social</b>	Viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición	31.12%	0.36	-0.18	-0.18
	Estatus de la gestión para la adquisición de predios influidos por el proyecto	19.56%	-0.20	0.00	0.20
	Pago anual por trasvase entre cuencas	49.32%	0.46	0.06	-0.52
<b>Económica</b>	Costo de operación	26.00%	0.26	0.00	-0.26
	Monto de la inversión	41.27%	0.06	0.38	-0.44
	Costo de potabilización	32.73%	0.23	-0.38	0.15
<b>Ambiental</b>	Cambios en la producción de bienes comerciales	12.10%	0.07	-0.14	0.07
	Cambios en la calidad ambiental y efectos en la salud	38.03%	0.43	-0.27	-0.16
	Pérdida del valor de la existencia o legado	31.64%	-0.37	0.18	0.18
	Recreación	18.23%	0.11	-0.21	0.11
	<b>Suma</b>		<b>1.48</b>	<b>-0.72</b>	<b>-0.76</b>

# V. Conclusiones y recomendaciones

Debido a los resultados presentados se obtienen las siguientes conclusiones:

- La alternativa más viable en el análisis de los resultados es el proyecto Temascaltepec, como segunda opción se presenta El Valle del Mezquital y como última alternativa (por limitaciones del trabajo) se tiene el proyecto Tecolutla-Necaxa.
- La metodología que se presenta en el análisis de las alternativas a fuentes de abastecimiento funciona como herramienta futura en la evaluación de proyectos para diversos grupos de trabajo relacionados con el abastamiento hídrico debido a la inclusión de criterios técnicos, sociales, económicos y ambientales.
- La metodología presentada cuenta con un mayor grado de confiabilidad al tener una escala comparativa y analizar los criterios de una forma objetiva debido a su jerarquización.
- Existe escasez hídrica en la Zona Metropolitana del Valle de México debido a la sobrepoblación y a los daños presentados en la infraestructura, además del mal uso generado por los habitantes.

A raíz de lo generado en este trabajo se emiten las siguientes recomendaciones:

- Debido a que el índice de escasez hídrica va en aumento en la Zona Metropolitana del Valle de México se recomienda iniciar con la ejecución del proyecto Temascaltepec y generar los estudios faltantes prioritarios de los demás proyectos para lograr mejores expedientes.
- Incrementar las soluciones que van enfocadas a la gestión de los recursos hídricos para darle un mejor manejo al agua.
- Generar planes de mantenimiento preventivo y correctivo en el actual sistema de abastecimiento, además del plan de operación óptima de la futura infraestructura.
- Establecer en cada una de las futuras evaluaciones una escala calificativa de manera objetiva.

- Se debe incrementar la metodología analizando además demás criterios importantes o situaciones particulares en la aplicación a distintos proyectos.
- Apoyar el desarrollo económico de las zonas proveedoras de agua, de esta forma se apoyará la descentralización del país y con ello disminuirá la demanda en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Con respecto a la hipótesis:

Los criterios técnicos y económicos siempre son los que generan más discusión en el análisis de proyectos, sin embargo es indispensable tomar en cuenta los demás criterios a evaluar. Generalmente los proyectos ingenieriles se basan en el análisis beneficio costo, donde el factor económico es el de mayor porcentaje.

Los aspectos técnicos y económicos son los primeros en calificar debido a que estos se pueden generar de manera cuantitativa y objetiva ingenierilmente.

# Referencias

Anon., 2008. *Medio ambiente*. [En línea] Available at: [http://www.transparenciamedioambiente.df.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=86%3Afuentes-de-abastecimiento&catid=57%3Aimpactos-en-la-vida-cotidiana&Itemid=415](http://www.transparenciamedioambiente.df.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=86%3Afuentes-de-abastecimiento&catid=57%3Aimpactos-en-la-vida-cotidiana&Itemid=415) [Último acceso: 25 enero 2018].

Anon., 2016. *AGUA.org.mx*. [En línea] Available at: <https://agua.org.mx/hidroelectrica-necaxa-costara-20-7-mmdp-conagua/> [Último acceso: 12 Febrero 2018].

Arancibia Carvajal, S. & Contreras Villablanca, E., 2016. *Evaluación multicriteria y su aplicabilidad en la evaluación de proyectos públicos*. Santiago de Chile, XXI Congreso Internacional del CLAD, p. 19.

Banco Mundial, 2013. *Agua Urbana en el Valle de México: ¿un camino verde para mañana?*. Washington D.C.: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento.

Comisión Nacional del Agua, 2013. *Estadísticas del Agua en la Región Hidrológico-Administrativa XIII*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua..

CONAGUA, 2014. *Estadísticas del agua en México Edición 2014*. Coyoacán, México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAGUA, 2015. *Proyectos estratégicos. Agua Potable, drenaje, saneamiento..* Ciudad de México, s.n., p. 92.

CONAPO, 2017. *Consejo Nacional de Población*. [En línea] Available at: [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones\\_Datos](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos) [Último acceso: 16 Febrero 2018].

de Albuquerque, C. & Roaf, V., 2012. *Derechos hacia el final. Buenas prácticas en la realización de los derechos al agua y al saneamiento.* Lisboa: ONGAWA. Ingeniería para el desarrollo humano.

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas, 2014. *La escasez de agua.* [En línea]  
Available at: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

Escolero Fuentes, Ó. A., Martínez, S. E., Kralisch, S. & Perevochtchikova, M., 2009. *Vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México en el contexto de cambio climático*, Ciudad de México: s.n.

González Turrubiantes, J. G., González Turrubiantes, D. M. E., Rodríguez Gómez, A. & Haces Zorrilla, M. A., 2004. APLICACIÓN DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO EN LA GESTIÓN DEL AGUA DEL RÍO GUAYALEJO-TAMESÍ. *Agua*, p. 16.

González Villarreal, F. J. y otros, 2013. *Análisis de opciones para el abastecimiento futuro de agua potable a la Zona Metropolitana del Valle de México*, Ciudad de México: s.n.

INEGI, 2010. *Censo de Población y Vivienda 2010*, s.l.: s.n.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014. *Cuaderno estadístico y geográfico de la zona metropolitana del Valle de México.* México, D.F.: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Jiménez, B., 1995. *"Índice de disponibilidad del agua en base a su calidad y cantidad"*. Muscat, Oman, s.n.

Jiménez, B., Mazari, M., Cifuentes, E. & Domínguez, R., 2002. El agua en el Valle de México. En: *El agua en México vista desde la academia*. Distrito Federal: Academia Mexicana de Ciencias, p. 200.

Lemus, J. J., 2016. La lucha por el agua. *Reporte índigo*, 03 Febrero .

Merkova, R., 2017. *Naciones Unidas.* [En línea]  
Available at: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>

Mesa, P., Ortega, M. & Berbel, J., 2008. Análisis multicriterio de preferencias sociales en gestión hídrica bajo la Directiva Marco del Agua. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 8 Agosto, 8(2), pp. 105-126.

Moreno Jiménez, J. M., Aguarón Joven, J., Cano Sevilla, F. & Escobar Urmeneta, M. T., 1998. Validez, robustez y estabilidad en decisión multicriterio. Análisis de sensibilidad en el proceso analítico jerárquico.. *Rev.R.Acad.Cien.Exact.Fis.Nat. (Esp)*, 92(4), pp. 387-397.

Organización de las Naciones Unidas, 2014. *El derecho humano al agua y al saneamiento*. [En línea] Available at: [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml)

Pérez, R., Jiménez, R., Jiménez, B. & Chávez, A. C., 2000. *¿El agua del Valle del Mezquital, fuente de abastecimiento para el Valle de México?*. Morelia, Michoacán, México, s.n., pp. 859-870.

Saaty, T. L., 1994. *Fundamentals of Decision Making*. RSW Publications..

Saaty, T. L., 1997. *Toma de decisiones para líderes: El proceso analítico jerárquico. La toma de decisiones en un mundo complejo*. Pittsburgh: RWS Publications.

SEDESOL, 2014. *Diagnóstico del programa para el desarrollo de zonas prioritarias*, s.l.: SEDESOL.

Sistema de Aguas de la Ciudad de México, 2012. *El gran reto del agua en la Ciudad de México*. Ciudad de México: Sistema de Aguas de la Ciudad de México.

Sokolov, A. A. & Chapman, T. C., 1991. *Métodos de cálculo del balance hídrico. Guía internacional de investigación y métodos*.. Madrid: Unesco.

Verduzco, V., Garatuza, J. & Díaz, S., 2015. Priorización de necesidades de reemplazo de tuberías usando SIG y evaluación multicriterio.. *Tecnología y Ciencias del agua*., Enero-Febrero.VI(1).

# VI. Anexos

Anexo 1.



Esquema 1. Macrocircuito y Acuaférico. Extraído de El gran reto del agua en la Ciudad de México. 2012

## Anexo 2

### Criterio técnico.

La matriz pareada se construye con valores determinados por el evaluador, y estos corresponden a la importancia de un atributo con respecto a otro.

*Matriz pareada del criterio técnico.*

	<b>Caudal disponible</b>	<b>Interconexión con el sistema</b>	<b>Proceso constructivo</b>
<b>Caudal disponible</b>	1	2	1
<b>Interconexión con el sistema</b>	0.50	1	3
<b>Proceso constructivo</b>	1	0.33	1

Una vez construida la matriz pareada, esta se normaliza para poder continuar con las operaciones.

*Matriz normalizada del criterio técnico.*

<b>Matriz normalizada</b>		
0.40	0.60	0.20
0.20	0.30	0.60
0.40	0.10	0.20

Con la matriz normalizada surge un vector de apoyo para determinar la ponderación correspondiente a cada uno de los atributos.

*Vector de apoyo para el criterio técnico*

<b>Vector</b>	1.37
	1.27
	0.76

*Ponderaciones resultantes del criterio técnico*

<b>Interconexión con el sistema</b>	37.38%
<b>Caudal disponible</b>	40.33%
<b>Proceso constructivo</b>	22.30%
<b>Suma</b>	100.00%

Se le asigna una nueva calificación a cada uno de los atributos del proyecto, el cual se hace de la siguiente forma:

$$\text{Calificación} = (\text{Atributo} - \text{promedio}) / \text{desviación estándar}$$

Como resultado tenemos la siguiente Tabla:

*Calificación del criterio técnico*

<b>Criterio</b>	<b>Calificación</b>		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Caudal disponible</b>	-1.09	0.21	0.88
<b>Interconexión con el sistema</b>	1.00	0.00	-1.00
<b>Proceso constructivo</b>	0.58	-1.15	0.58

Al final se presenta la matriz de calificaciones ponderadas, la cual se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Calificación ponderada} = (\text{Calificación}) \times (\% \text{ de preponderancia})$$

*Calificación ponderada final del criterio técnico.*

<b>Criterio</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificación ponderada</b>		
		Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Caudal disponible</b>	40.33%	-0.44	0.09	0.35
<b>Interconexión con el sistema</b>	37.38%	0.37	0.00	-0.37
<b>Proceso constructivo</b>	22.30%	0.13	-0.26	0.13

De la misma forma se construyen las demás matrices, las cuales se presentan a continuación.

Criterio social.

*Matriz pareada del criterio social.*

	<b>Viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición</b>	<b>Estatus de la gestión para la adquisición de predios influidos por el proyecto</b>	<b>Pago anual por trasvase entre cuencas</b>
<b>Viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición</b>	1	2	0.5
<b>Estatus de la gestión para la adquisición de predios influidos por el proyecto</b>	0.5	1	0.5
<b>Pago anual por trasvase entre cuencas</b>	2	2	1

*Matriz normalizada del criterio social.*

<b>Matriz normalizada</b>		
0.29	0.40	0.25
0.14	0.20	0.25
0.57	0.40	0.50

*Vector de apoyo para el criterio social.*

<b>Vector</b>	0.95
	0.60
	1.51

*Ponderaciones resultantes del criterio social.*

<b>Estatus de la gestión para la adquisición de predios influidos por el proyecto</b>	19.56%
<b>Viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición</b>	31.12%
<b>Pago anual por trasvase entre cuencas</b>	49.32%
<b>Suma</b>	100.00%

*Calificación del criterio social.*

Criterio	Calificación		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición</b>	1.15	-0.58	-0.58
<b>Estatus de la gestión para la adquisición de predios influidos por el proyecto</b>	-1.00	0.00	1.00
<b>Pago anual por trasvase entre cuencas</b>	0.93	0.12	-1.06

*Calificación ponderada final del criterio social.*

Criterio	Ponderación	Calificación ponderada		
		Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Viabilidad del proyecto ante expresiones sociales de oposición</b>	31.12%	0.36	-0.18	-0.18
<b>Estatus de la gestión para la adquisición de predios influidos por el proyecto</b>	19.56%	-0.20	0.00	0.20
<b>Pago anual por trasvase entre cuencas</b>	49.32%	0.46	0.06	-0.52

Criterio económico.

*Matriz pareada del criterio económico.*

	<b>Monto de la inversión</b>	<b>Costo de operación</b>	<b>Costo de potabilización</b>
<b>Monto de la inversión</b>	1	2	1
<b>Costo de operación</b>	0.5	1	1
<b>Costo de potabilización</b>	1	1	1

*Matriz normalizada del criterio económico.*

<b>Matriz normalizada</b>		
0.40	0.50	0.33
0.20	0.25	0.33
0.40	0.25	0.33

*Vector de apoyo para el criterio económico.*

<b>Vector</b>	1.26
	0.79
	1.00

*Ponderaciones resultantes del criterio económico.*

<b>Costo de potabilización</b>	32.73%
<b>Monto de la inversión</b>	41.27%
<b>Costo de operación</b>	26.00%
<b>Suma</b>	100.00%

Calificación del criterio económico.

Criterio	Calificación		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Costo de operación</b>	0.99	0.01	-1.01
<b>Monto de la inversión</b>	0.15	0.92	-1.07
<b>Costo de potabilización</b>	0.70	-1.15	0.45

Calificación ponderada final del criterio económico.

Criterio	Ponderación	Calificación ponderada		
		Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Costo de operación</b>	26.00%	0.26	0.00	-0.26
<b>Monto de la inversión</b>	41.27%	0.06	0.38	-0.44
<b>Costo de potabilización</b>	32.73%	0.23	-0.38	0.15

Criterio ambiental.

Matriz pareada del criterio ambiental.

	Cambios en la producción de bienes comerciales	Cambios en la calidad ambiental y efectos en la salud	Pérdida del valor de la existencia o legado	Recreación
<b>Cambios en la producción de bienes comerciales</b>	1	0.5	0.5	0.5
<b>Cambios en la calidad ambiental y efectos en la salud</b>	2	1	0.5	5
<b>Pérdida del valor de la existencia o legado</b>	2	2	1	1
<b>Recreación</b>	2	0.2	1	1

*Matriz normalizada del criterio ambiental.*

<b>Matriz normalizada</b>			
0.14	0.14	0.17	0.07
0.29	0.27	0.17	0.67
0.29	0.54	0.33	0.13
0.29	0.05	0.33	0.13

*Vector de apoyo para el criterio ambiental.*

<b>Vector</b>	0.56
	1.77
	1.48
	0.85

*Ponderaciones resultantes del criterio ambiental.*

<b>Cambios en la producción de bienes comerciales</b>	12.10%
<b>Cambios en la calidad ambiental y efectos en la salud</b>	38.03%
<b>Pérdida del valor de la existencia o legado</b>	31.64%
<b>Recreación</b>	18.23%
<b>Suma</b>	100.00%

*Calificación del criterio ambiental.*

<b>Criterio</b>	<b>Calificación</b>		
	Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Cambios en la producción de bienes comerciales</b>	0.58	-1.15	0.58
<b>Cambios en la calidad ambiental y efectos en la salud</b>	1.14	-0.71	-0.43
<b>Pérdida del valor de la existencia o legado</b>	-1.15	0.58	0.58
<b>Recreación</b>	0.58	-1.15	0.58

*Calificación ponderada final del criterio ambiental.*

Criterio	Ponderación	Calificación ponderada		
		Temascaltepec	Valle del Mezquital	Tecolutla-Necaxa
<b>Cambios en la producción de bienes comerciales</b>	12.10%	0.07	-0.14	0.07
<b>Cambios en la calidad ambiental y efectos en la salud</b>	38.03%	0.43	-0.27	-0.16
<b>Pérdida del valor de la existencia o legado</b>	31.64%	-0.37	0.18	0.18
<b>Recreación</b>	18.23%	0.11	-0.21	0.11