

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE  
MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISION DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY®**

**TESIS**

**NIVEL DE SUSTENTABILIDAD DE LA GESTIÓN DEL AGUA (EN SU USO  
DOMÉSTICO) EN LA ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY**

**JESSICA VALERIE CATHERINE FUNCK**

**MONTERREY, N.L.**

**MAYO 2004**

# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA

Los miembros del Comité de tesis recomendamos que la presente propuesta de anteproyecto de tesis de la Ing. Jessica Funck sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado académico de Maestro en Ciencias con especialidad en:

SISTEMAS AMBIENTALES

Comité de tesis

---

Dr. Jorge Humberto García Orozco

---

Ing. Susana Judith Hurtado Baker

---

Dra. Ruth Elizabeth Reyna Caamaño

---

Dr. Federico Viramontes Brown  
Director del Programa de Graduados en Ingeniería

## RESUMEN

Esta tesis investiga la gestión del agua en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey y en particular del uso doméstico de agua a fin de evaluar el nivel de sustentabilidad de la misma y de identificar las áreas de oportunidad de mejora. Se estudia la situación actual y las medidas implementadas por los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM) hasta el 2003 y se evalúa el nivel de sustentabilidad basándose en indicadores desarrollados para este propósito.

Los indicadores se desarrollaron según el método *Driving forces – Pressure – State – Impact – Response* (DSPIR). Para elaborarlos, se planteó el objetivo de lo que se quería demostrar y qué indicadores parecían relevantes. La dificultad principal a este nivel fue obtener datos relevantes y locales (para el área metropolitana de Monterrey-AMM-). No se pudieron conseguir (porque no existían o porque no eran accesibles o confiables) los consumos de agua domésticos en el AMM según uso (aseo, sanitarios, cocina, etc.), los consumos de agua según los ingresos de las familias, la recarga de las aguas superficiales del AMM, la frecuencia (el número) de contactos de los ciudadanos del AMM con SADM o CNA (Comisión nacional del agua), la eficiencia de las campañas del agua en los ciudadanos (si aplican lo que les fue enseñado o no), la contaminación de las aguas subterráneas, los consumos de agua por sector geográfico (para saber en dónde enfocar prioritariamente las medidas), el número de delitos consignados en relación al total, el volumen de agua pluvial captado, entre otros. Se recomienda medir estos parámetros en el futuro a fin de poder complementar esta investigación y así tener una mejor evaluación del nivel de sustentabilidad de la gestión del agua en el área metropolitana de Monterrey. Se restringió la selección de indicadores ya que no se estudiaron los más relevantes sino los mejores de acuerdo a la disponibilidad de los datos. Sin embargo, se consiguieron al final una base de datos correcta (para una primera evaluación) sobre el acuífero, los consumos de agua, la red de alcantarillo y drenaje, el reuso de agua, las diferentes políticas de cultura del agua y los programas implementados para mejorar el estado actual, entre otros.

Los resultados de esta tesis y la comparación con varios países y ciudades de México muestra que el AMM está en buen camino para un uso sustentable del agua porque ya implementó muchas de las acciones (como iniciativas para reciclar el agua, programas de medición y reducción de fugas, programas de concientización de los usuarios, sistema de tarifas, 100% de las aguas residuales tratadas, entre otros) que a

largo plazo deberían de ir en este sentido. Sin embargo, se pueden implementar medidas suplementarias para llegar a la sustentabilidad (Evitar el abatimiento del acuífero, frenar el crecimiento demográfico de la ciudad, promover o/y reglamentar el uso de dispositivos o tecnologías ahorradores de agua, recolectar y usar las aguas pluviales, etc.) y mejorar las que ya están implementadas (como el sistema de tarifas por ejemplo). Esto llevó a la conclusión que el consumo doméstico promedio diario por habitante no es muy alto en comparación con otros países (130l / cáp/día).

Sin embargo, a pesar de todas estas medidas, el problema principal está en el hecho de que en el AMM, la disponibilidad del agua no puede soportar la tasa de crecimiento actual de la población, por lo que reducir los consumos y seguir creciendo solo retrasará el resultado (el agotamiento).

Esta investigación se restringió principalmente al uso doméstico del agua por lo que para conocer el nivel real de sustentabilidad del sistema hídrico del área metropolitana de Monterrey se requeriría un estudio más completo.

En el capítulo 1, se hace una presentación general de la tesis y de la situación mundial del agua y de la importancia de su manejo en forma sostenible. En el capítulo 2, se presenta la situación general del manejo del agua en el Área Metropolitana de Monterrey a través de una descripción geográfica y demográfica, una caracterización rápida de las industrias y una descripción de la gestión del agua. En el capítulo 3, se presentan las medidas para la sustentabilidad del agua mediante la reducción de los consumos de agua y se estudia el nivel de implementación en el AMM. En el capítulo 4, se estudian los parámetros económicos de sustentabilidad del agua (como por ejemplo el precio real del agua) y su estado en el AMM. En el capítulo 5, se hace una presentación general del método de selección de indicadores y de los indicadores seleccionados en esta investigación para el estudio de la gestión sustentable del uso doméstico del agua en el AMM. El capítulo 6 presenta la metodología utilizada para esta investigación. El capítulo 7 presenta los resultados con la evaluación de los indicadores y la identificación de áreas de oportunidad de mejora. Finalmente, el capítulo 8 enuncia las conclusiones de esta tesis.

## EXECUTIVE SUMMARY

This thesis investigates the aquatic system's management in the metropolitan area of Monterrey and in particular of the domestic water use in order to evaluate the sustainability level and to identify opportunity zones for improvement. The present situation and the implemented measures were studied. The sustainability level was evaluated thanks to sustainability indicators. With the results, different areas appeared for improvement opportunity.

For this, a series of indicators according to the *Driving forces – Pressure – State – Impact – Response* (DSPIR) method was implemented. In order to select them, the objective and relevance of the indicator for representing it were considered. The main difficulty was to collect trustworthy and local data (for the Metropolitan Area of Monterrey - AMM). Data could not be obtained like the domestic water consumptions in the AMM according to use (cleanliness, toilets, cook, etc.), the water consumptions according to the income of the families, the charge of superficial waters of the AMM, the frequency (the number) of contacts between citizens of the AMM and “Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey” (SADM) or “comisión nacional del agua” (CNA), the efficiency of the water campaigns in the citizens (if they apply what was embosomed to them or not), groundwater pollution, water consumptions by geographic sector (to know in where to focus the measures primarily), volume of caught pluvial water, among others. It is recommended to measure these parameters in order to be able to complement this study in the future and thus to have a better evaluation of the level of sustainability at the metropolitan area of Monterrey. This restricted us in the selection of indicators. Nevertheless, at the end, a relatively good data base was obtained on the aquifer, the water consumptions, the network of distribution and drainage, reuse of water, the different policies from culture of the water and the implemented programs to improve the present state, among others.

The results of this thesis and the comparison with several countries and cities of Mexico show us that the AMM is in good way for a sustainable use of water because it already implemented many of the actions (like initiatives to recycle the water, programs of measurement and reduction of spills, programs of awareness of the users, system of tariffs, 100% of residual waters treated, among others) that in the long term would have to go in this sense. Nevertheless, additional measures can be implemented to obtain sustainability (To avoid the overexploitation of the aquifer, to restrain the population

increase of the city, to promote or/and to regulate the use of devices or saving water technologies, to collect and to use pluvial waters, etc.) and to improve those that already are implemented (like the system of tariffs for example). And in spite of all these measures, the main problem is the fact that in the AMM the availability of the water cannot support actual population growth, therefore the reduction of consumption continuing the growing of population, will simply delay the result (the exhaustion). It leads to one conclusion: domestic water consumption per capita is relatively low in comparison with other countries (130 l/cáp/day).

This study was restricted mainly to the domestic use of water and to know a more precise level the sustainability of the aquatic system at the metropolitan area of Monterrey, a more complete study would be required.

Chapter 1 is a general presentation of the investigation and of the world-wide situation of water and the sustainable development of the water. Chapter 2 presents the general situation in the Metropolitan Area of Monterrey through a geographic and demographic description, a fast characterization of the industries and a description of the management of the water. Chapter 3 enunciates measures of sustainability for the reduction of the water consumptions and studies its level of implementation in the AMM. Chapter 4 studies the economic parameters of sustainability of water (like for example the real price of water) and their state in the AMM. Chapter 5 presents the selection method of the indicators and the indicators selected for the study of the management of the water in its domestic use in the AMM. Chapter 6 presents the methodology used for this investigation. Chapter 7 displays the results of the indicators' evaluation and the identification of areas of improvement opportunity. Finally, chapter 8 enunciates the conclusions.

# ÍNDICE

<a href="#">Resumen</a> .....	3
<a href="#">Executive summary</a> .....	5
<a href="#">Índice</a> .....	7
<a href="#">Lista de tablas</a> .....	10
<a href="#">Lista de figuras</a> .....	11
<a href="#">Lista de gráficas</a> .....	12
<a href="#">Abreviaciones</a> .....	13
<a href="#">Unidades</a> .....	14
<a href="#">1. Introducción</a> .....	15
<a href="#">1.1 Antecedentes</a> .....	15
<a href="#">1.1.1 Generalidades:</a> .....	15
<a href="#">1.1.2 Definición del problema:</a> .....	17
<a href="#">1.1.3 Objetivo:</a> .....	18
<a href="#">1.1.4 Contribución:</a> .....	18
<a href="#">1.1.5 Alcance:</a> .....	18
<a href="#">1.2. Agua y desarrollo sostenible</a> .....	19
<a href="#">1.2.1. El agua y el desarrollo social:</a> .....	20
<a href="#">1.2.2. El agua y el desarrollo económico:</a> .....	20
<a href="#">1.2.3. El agua y el medioambiente:</a> .....	20
<a href="#">1.3 Situación del agua</a> .....	22
<a href="#">1.3.1 Ciclo del agua para uso humano</a> .....	22
<a href="#">1.3.2 Situación del agua en el mundo</a> .....	28
<a href="#">1.3.3 Situación del agua en México</a> .....	30
<a href="#">2. Análisis de la situación en el AMM</a> .....	34
<a href="#">2.1. El Área Metropolitana de Monterrey:</a> .....	34
<a href="#">2.2. Caracterización de las industrias:</a> .....	36
<a href="#">2.3 El agua en el AMM:</a> .....	40
<a href="#">2.3.1 Regiones hidrológicas</a> .....	40
<a href="#">2.3.2 Abastecimiento</a> .....	41
<a href="#">2.3.3 Consumos de agua</a> .....	43
<a href="#">2.3.4 Tarifas del agua</a> .....	47
<a href="#">2.3.5 Calidad del agua potable</a> .....	49
<a href="#">2.3.6 Pérdidas de agua</a> .....	50
<a href="#">2.3.7 Drenaje sanitario</a> .....	51
<a href="#">2.3.8 Aprovechamiento de las aguas pluviales</a> .....	52
<a href="#">3. Medidas de sustentabilidad</a> .....	54
<a href="#">3.1. Generalidades sobre las estrategias de sustentabilidad en el uso del agua:</a> .....	54

<u>3.2 Aplicación al AMM:</u> .....	56
<u>3.2.1 Introducción de equipos ahorradores de agua</u> .....	56
<u>3.2.2 Sensibilización de los consumidores</u> .....	58
<u>3.2.3 Depuración y reutilización de las aguas residuales</u> .....	59
<u>3.2.4 Mantenimiento de la red de distribución y evacuación, Medición y reducción de fugas</u> .....	60
<u>3.2.5 Reglamentación y restricciones al uso doméstico</u> .....	62
<u>3.2.6 Tarifas</u> .....	63
<u>3.2.7 Otras medidas de sustentabilidad</u> .....	63
<b><u>4. Parámetros económicos de sustentabilidad</u></b> .....	<b>65</b>
<u>4.1. Introducción</u> .....	65
<u>4.2. Aplicación al AMM:</u> .....	67
<u>4.2.1. Ninguna pérdida económica para la empresa proveedora de agua</u> .....	67
<u>4.2.2. Precio justo</u> .....	67
<u>4.2.3. Primas/Tasas/Costos externos/Valoración económica del recurso natural agua</u> .....	67
<u>4.2.4. Factibilidad y eficiencia legislativa y administrativa</u> .....	70
<u>4.3 Conclusión</u> .....	72
<b><u>5. Indicadores de sustentabilidad</u></b> .....	<b>73</b>
<u>5.1. Introducción</u> .....	73
<u>5.1.1. Generalidades</u> .....	74
<u>5.1.2. Método DSPIR</u> .....	76
<u>5.2. Niveles de sustentabilidad</u> .....	77
<u>5.3. Indicadores de sustentabilidad para sistemas hídricos</u> .....	78
<b><u>6. Metodología</u></b> .....	<b>84</b>
<u>6.1 Metodología:</u> .....	84
<u>6.1.1 Estudio del Estado del arte</u> .....	84
<u>6.1.2 Recopilación de información primaria y secundaria</u> .....	85
<u>6.1.3 Análisis de la situación del AMM</u> .....	85
<u>6.1.4 Análisis de las medidas de sustentabilidad implementadas</u> .....	86
<u>6.1.5 Análisis de los parámetros económicos de sustentabilidad</u> .....	86
<u>6.1.6 Definición de los indicadores en función de los objetivos</u> .....	86
<u>6.1.7 Búsqueda de los datos faltantes y re-definición de los indicadores en función de los datos conseguidos</u> .....	93
<u>6.1.8 Evaluación de los indicadores/Presentación de resultados</u> .....	93
<u>6.1.9 Determinación de áreas de oportunidad de mejora</u> .....	93
<u>6.1.10 Conclusiones y recomendaciones</u> .....	93
<u>6.2 Calidad de los datos o de la información</u> .....	94
<u>6.3 Estimaciones de indicadores</u> .....	94
<b><u>7. Resultados</u></b> .....	<b>95</b>
<u>7.1. Evaluación de los indicadores</u> .....	95
<u>7.1.1 Extracción total</u> .....	95
<u>7.1.2 Disponibilidad total</u> .....	95
<u>7.1.3 Crecimiento vs acuífero</u> .....	96
<u>7.1.4 Uso del agua por sector</u> .....	96
<u>7.1.5 Consumo diario doméstico per cápita</u> .....	96
<u>7.1.6 Consumo diario per ingresos per cápita</u> .....	97
<u>7.1.7 Aguas pluviales captadas</u> .....	97
<u>7.1.8 Calidad del agua potable</u> .....	97
<u>7.1.9 Aguas residuales tratadas</u> .....	97
<u>7.1.10 Contaminación del agua</u> .....	97
<u>7.1.11 Biodiversidad</u> .....	98
<u>7.1.12 Acceso a agua potable</u> .....	98

<a href="#">7.1.13 Acceso a servicios sanitarios</a> .....	98
<a href="#">7.1.14 Exposición a aguas residuales</a> .....	99
<a href="#">7.1.15 Infecciones</a> .....	99
<a href="#">7.1.16 Concientización</a> .....	99
<a href="#">7.1.17 Participación ciudadana</a> .....	100
<a href="#">7.1.18 Ahorro organismo y sociedad</a> .....	100
<a href="#">7.1.19 Reuso y reciclaje</a> .....	100
<a href="#">7.1.20 Eficiencia y rentabilidad</a> .....	100
<a href="#">7.1.21 Solvencia e inversiones</a> .....	101
<a href="#">7.1.22 Costo real del agua y servicios</a> .....	101
<a href="#">7.1.23 Impuestos y subsidios</a> .....	101
<a href="#">7.1.24 Multas, Cargos y premios</a> .....	101
<a href="#">7.1.25 Reglamentación obsoleta</a> .....	102
<a href="#">7.1.26 Protección del acuífero</a> .....	102
<a href="#">7.1.27 Procuración de justicia</a> .....	102
<a href="#">7.1.28 Responsabilidad colectiva</a> .....	102
<a href="#">7.2. Recapitulación</a> .....	103
<a href="#">7.2.1 Áreas sustentables o en buen camino hacia la sustentabilidad</a> .....	104
<a href="#">7.2.2 Áreas no sustentables</a> .....	104
<a href="#">7.2.3 Propuestas para mejorar la sustentabilidad</a> .....	105
<a href="#">7.3 Comparación AMM vs Querétaro</a> .....	106
<b>8. Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>109</b>
<a href="#">8.1 Conclusiones</a> .....	109
<a href="#">8.1.1 Conclusiones de esta investigación</a> .....	109
<a href="#">8.1.2 Conclusiones generales</a> .....	112
<a href="#">8.2 Recomendaciones</a> .....	113
<a href="#">8.2.1 Recomendaciones acerca de futuros estudios</a> .....	113
<a href="#">8.2.2 Recomendaciones acerca de los datos</a> .....	114
<b>Bibliografía</b> .....	<b>116</b>
<b>Apéndices</b> .....	<b>119</b>
<a href="#">Apéndice 1: Área Metropolitana de Monterrey</a> .....	119
<a href="#">Apéndice 2: Cultura del agua</a> .....	120
<a href="#">Apéndice 3: Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. Artículo 2o.</a> .....	122
<a href="#">Apéndice 4: Climatología e Hidrología</a> .....	123
<a href="#">Apéndice 5: Explotación de los acuíferos de la región Río Bravo</a> .....	124
<a href="#">Apéndice 6: Abasto por fuente</a> .....	125
<a href="#">Apéndice 7: Drenaje/Tratamiento de aguas residuales</a> .....	126
<a href="#">Apéndice 8: Reuso del agua</a> .....	128
<a href="#">Apéndice 9: Marco legal</a> .....	129
<a href="#">Apéndice 10: Indicadores internacionales</a> .....	130
<a href="#">Apéndice 11: Programa hidráulico regional 2002-2006 Región VI Río Bravo</a> .....	131
<a href="#">Apéndice 12: Biodiversidad</a> .....	135

# LISTA DE TABLAS

TABLA 1.1: CONTENIDO DE CONTAMINANTES TÍPICOS EN EL AGUA RESIDUAL.....	26
TABLA 1.2: TIPO Y FUENTE DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA .....	26
TABLA 1.3: CONSUMOS DOMÉSTICOS DE AGUA POR DÍA POR HABITANTE POR PAÍS .....	28
TABLA 2.1: POBLACIÓN EN EL AMM EN EL 2000 SEGÚN MUNICIPIO.....	34
TABLA 2.2: ÁREAS VERDES EN NUEVO LEÓN .....	36
TABLA 2.3: PERSONAL OCUPADO POR ACTIVIDAD MANUFACTURERA EN EL AÑO 1998 EN EL AMM .....	37
TABLA 2.4: NÚMERO DE EMPRESAS, POR TIPO DE ACTIVIDAD Y TAMAÑO EN EL AMM Y TODO EL ESTADO DE NUEVO LEÓN .....	38
TABLA 2.5: PRESAS PARA ABASTECIMIENTO DEL AMM.....	42
TABLA 2.6: CALIDAD DEL AGUA POTABLE EN LA RED DOMICILIARIA DEL AMM .....	49
TABLA 2.7: PRINCIPALES ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA EN NUEVO LEÓN (CASOS PRESENTADOS DURANTE EL AÑO 2001).....	50
TABLA 2.8: PLANTAS DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL .....	51
TABLA 3.1: TÉCNICAS DE USO DOMÉSTICO EFICIENTE DEL AGUA EN MÉXICO.....	55
TABLA 3.2: AHORROS RESULTANTES DE DIFERENTES EQUIPOS AHORRADORES DE AGUA .....	57
TABLA 4.1: DISTRIBUCIÓN PROMEDIO DE AGUA PARA EL ÁREA FRONTERIZA CON ESTADOS UNIDOS.....	67
TABLA 4.2: VALOR PROMEDIO DE LAS BOLETAS (PESOS) POR USO DOMÉSTICO .....	68
TABLA 4.3: EVOLUCIÓN DE LAS TARIFAS PARA DESCARGAS AL DRENAJE, USO O APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y PARA AGUA NO POTABLE DE DICIEMBRE 2003 A MARZO 2004.....	69
TABLA 4.4: CONSOLIDADO DEL 1 DE ENERO AL 31 DE ABRIL DE 2003.....	70
TABLA 4.5: CONSOLIDADO DEL 1 DE ENERO AL 31 DE MARZO DE 2004 .....	71
TABLA 5.1: NIVELES DE SUSTENTABILIDAD PARA SISTEMAS HÍDRICOS .....	77
TABLA 5.2: INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD PARA SISTEMAS HÍDRICOS .....	79
TABLA 6.1: INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD PARA EL SISTEMA HÍDRICO DEL AMM .....	88
TABLA 7.1: CALIDAD DEL AGUA POTABLE EN LA RED DOMICILIARIA DEL AMM .....	98
TABLA 7.2: INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD PARA EL SISTEMA HÍDRICO DEL AMM, RESULTADOS Y NIVEL DE SUSTENTABILIDAD .....	103
TABLA 7.3: COMPARACIÓN ENTRE QUERÉTARO Y AMM.....	107
TABLA A.1: CLIMATOLOGÍA .....	123
TABLA A.2: ABASTO POR FUENTE .....	125
TABLA A.3: TARIFAS PARA DESCARGAS AL DRENAJE, USO O APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y PARA AGUA NO POTABLE EN MARZO DEL 2004 .....	126
TABLA A.4: GASTOS POR ENTIDAD FEDERAL .....	127
TABLA A.5: REUSO DEL AGUA/PLANTAS DE TRATAMIENTO .....	128
TABLA A.6: CLASIFICACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA .....	130
TABLA A.7: GRADO DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO EN LAS REGIONES HIDROLÓGICAS ADMINISTRATIVAS .....	130
TABLA A.8: COBERTURA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO .....	130
TABLA A.9: RECARGA, DESCARGA, DISPONIBILIDAD EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN.....	131
TABLA A.10: VOLÚMENES DE EXTRACCIÓN EN LA REGIÓN RÍO BRAVO .....	132
TABLA A.11: EXTRACCIÓN Y RECARGA.....	132
TABLA A.12: DISPONIBILIDAD DEL AGUA POR CUENCA PROPIA.....	133
TABLA A.13: VALORES DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) .....	133
TABLA A.14: CALIDAD DEL AGUA EN LA REGIÓN RÍO BRAVO.....	133

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1: AGUA Y DESARROLLO SUSTENTABLE .....	19
FIGURA 1.2: SUSTENTABILIDAD DEL SISTEMA DE GESTIÓN DEL AGUA.....	21
FIGURA 1.3: PRINCIPALES DATOS SOBRE EL USO URBANO DEL AGUA EN EL MUNDO .....	22
FIGURA 1.4: POTABILIZACIÓN (TRATAMIENTO CONVENCIONAL) .....	24
FIGURA 1.5: SISTEMA MUNICIPAL DE SANEAMIENTO .....	25
FIGURA 1.6: DISPONIBILIDAD DE AGUA POR REGIÓN HIDROLÓGICA.....	30
FIGURA 1.7: USO PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO .....	30
FIGURA 1.8: USO PARA INDUSTRIA (*) .....	31
FIGURA 2.1: SISTEMA SUPERFICIAL DE LA REGIÓN RÍO BRAVO .....	41
FIGURA 3.1: EQUIPOS AHORRADORES DE AGUA.....	56
FIGURA 5.1: EL MODELO DPSIR .....	76
FIGURA 6.1: METODOLOGÍA .....	85
FIGURA A.1: MAPA DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN .....	119
FIGURA A.2: ESCURRIMIENTOS EN LA CUENCA RÍO BRAVO.....	123
FIGURA A.3 EXPLOTACIÓN DE LOS ACUÍFEROS DE LA REGIÓN RÍO BRAVO .....	124
FIGURA A.4: TRATAMIENTO DE EFLUENTES .....	128

# LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1.1: PRINCIPALES PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	27
GRÁFICA 1.2: CONSUMOS DOMÉSTICOS PROMEDIOS DE AGUA EN VARIOS PAÍSES .....	29
GRÁFICA 1.3: USOS DEL AGUA EN MÉXICO .....	31
GRÁFICA 1.4: CONSUMOS DOMÉSTICOS PROMEDIOS DE AGUA EN MÉXICO .....	32
GRÁFICA 1.5: CONSUMO PROMEDIO DE AGUA POR FAMILIA EN MÉXICO (M <sup>3</sup> ) .....	32
GRÁFICA 1.6: TARIFAS PARA USO DOMÉSTICO DE AGUA POTABLE EN ALGUNAS CIUDADES .....	33
GRÁFICA 2.1: POBLACIÓN EN MONTERREY 1970-2010 .....	35
GRÁFICA 2.2: DISTRIBUCIÓN DEL PIB EN EL AÑO 2002 EN EL AMM .....	37
GRÁFICA 2.3: AUMENTO DE VEHÍCULOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY ENTRE 1989 Y 2001 .....	40
GRÁFICA 2.4: HORAS DIARIAS DE SUMINISTRO EN EL AMM .....	42
GRÁFICA 2.5: CONSUMO DE AGUA EN MONTERREY (SIN INCLUIR LOS DERECHOS CONCEDIDOS POR LA CNA) EN 2002 .....	43
GRÁFICA 2.6: CONSUMO PROMEDIO PER CÁPITA DOMÉSTICO EN EL AMM DE 1997 A 2002 .....	43
GRÁFICA 2.7: CONSUMOS DOMÉSTICOS DE AGUA EN MÉXICO EN 2002 .....	44
GRÁFICA 2.8: EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN MONTERREY ENTRE 2001 Y 2002 .....	44
GRÁFICA 2.9: PORCENTAJE DE USUARIOS CON AGUA .....	45
GRÁFICA 2.10: EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS ENTRE 1996 Y 2003 .....	45
GRÁFICA 2.11: EVOLUCIÓN DE LOS CONSUMOS MENSUALES DE AGUA ENTRE 2000 Y 2003 .....	46
GRÁFICA 2.12: EVOLUCIÓN DE LOS CONSUMOS MENSUALES DE AGUA DIFERENTES DEL DOMÉSTICO POR SECTOR EN 2003 .....	46
GRÁFICA 2.13: EVOLUCIÓN DE LOS CONSUMOS MENSUALES DOMÉSTICOS DE AGUA SECTOR DOMÉSTICO EN 2003 .....	47
GRÁFICA 2.14: TARIFA PROMEDIO ANUAL POR M <sup>3</sup> EN 2002 .....	48
GRÁFICA 2.15: COBRO PROMEDIO (DEL COBRO TOTAL) MENSUAL POR TIPO DE USUARIO Y POR USUARIO .....	48
GRÁFICA 2.16: COBRO ANUAL TOTAL POR TIPO DE USUARIO .....	48
GRÁFICA 2.17: PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN ANUAL PROMEDIO EN EL AMM .....	53
GRÁFICA 2.18: PRECIPITACIÓN ANUAL PROMEDIO EN EL AMM EN EL 2003 .....	53
GRÁFICA 3.1: GASTO PROMEDIO ANTES Y DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DE VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN EN SAN NICOLÁS DE LOS GARZA .....	57
GRÁFICA 3.2: SUMINISTRO DE AGUA POTABLE VS NÚMERO DE USUARIOS EN EL AMM .....	59
GRÁFICA 3.3: CONSUMOS PROMEDIOS DOMÉSTICOS MENSUALES EN EL AMM DE 1997 A 2002 .....	59
GRÁFICA 3.4: MACROMEDICIÓN DE FLUJO ENTRE 1992 Y 2000 .....	60
GRÁFICA 3.5: DISTRIBUCIÓN DEL AGUA NO CONTABILIZADA .....	61
GRÁFICA 7.1: COBERTURAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO .....	99

## ABREVIACIONES

AMM: Área Metropolitana de Monterrey

CNA: Comisión Nacional del Agua

CONABIO: Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DSPiR: *Driving forces – Pressure – State – Impact – Response*

DQO: Demanda Química de Oxígeno

EEA: European Environment Agency

ICA: Índice de Calidad del Agua

INEGI: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

SADM: Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

UNCSD: United Nations Commission for Sustainable Development

WHO: World Health Organisation

## UNIDADES

%: Porcentaje

hm<sup>3</sup>: hectómetros cúbicos

m: metro

l: litro

mg/l: miligramos por litro

□g/l: microgramos por litro

□ohms/cm: microhms por centímetro

km<sup>2</sup>: kilómetros cuadrados

m<sup>3</sup>/cáp.día: metros cúbicos per cápita por día

W/cáp: Watts per cápita

W/m<sup>3</sup>: Watts por metro cúbico

UFC/100ml, NMP/100ml: El número más probable (NMP) da, de forma estadística, la cantidad de bacterias posiblemente presentes en el agua. Las unidades formadoras de colonias (UFC) dan el número de colonias sin definir el número de bacterias existentes por conteo directo.

kg/cáp.año: kilogramos per cápita por día

mg X/kg: miligramos de sustancia X por kilogramo

#/año: número por año

m<sup>2</sup>/hab: metros cuadrados por habitante

m<sup>3</sup>/s metros cúbicos por segundo

#/100hab: numero por 100 habitantes

$\frac{(\text{hab/año})}{(\text{m/año})}$  = habitantes por año por metro por año

hab/ m<sup>2</sup>.m<sup>3</sup>: habitantes por metro cúbico por metro cuadrado

hrs/día: horas por día

#entradas/día: número de entradas por día

#encuentros/mes: número de encuentros por mes

\$/m<sup>3</sup>: pesos por metro cúbico

lps/hab: litros por segundo por habitante

lps: litros por segundo

m<sup>3</sup>/hab/año: metros cúbicos por habitante por año

m<sup>3</sup>/\$/día: metros cúbicos por pesos por día

# 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan en una primera parte, los antecedentes, generalidades sobre el tema del agua y la definición del problema así como los objetivos, las contribuciones y los alcances de la tesis. En una segunda parte, se explica la relación entre el agua y el desarrollo sostenible. En una tercera parte, se presenta el ciclo de vida del agua y la situación del agua en el mundo y en México. Por último, se explica la metodología empleada en esta investigación.

## **1.1 Antecedentes**

### **1.1.1 Generalidades:**

Los problemas más importantes con respecto al tema del agua se relacionan con:

- Recursos naturales
- Medio ambiente
- Administración

Existe un riesgo de agotamiento del recurso agua en el futuro. En nuestra época, la población mundial se está expandiendo rápidamente; sin embargo, la disponibilidad de agua dulce en la tierra es constante. El consumo de agua aumentó también con el tiempo. Por ejemplo, al principio del siglo XX se consumían aproximadamente 10 m<sup>3</sup> de agua por año en una familia media contra 200 m<sup>3</sup> hoy. [46]

México, siendo un país en desarrollo, el rápido crecimiento urbano suele crear problemas para satisfacer la demanda en agua y saneamiento. En general, los sistemas de abastecimiento de agua son antiguos o inadecuados y no bastan para proveer a toda la población de agua, especialmente en el medio rural. En las zonas urbanas, el problema más grave que se presenta es el de saneamiento. El caso del saneamiento es más serio ya que la cobertura es menor y por lo tanto es más probable la existencia de problemas de sanidad. Normalmente, no hay control de lo que se vierte en las aguas residuales y tampoco conciencia de las consecuencias ambientales. Un impacto ambiental se da cuando el agua contaminada se vierte a las fuentes superficiales de agua o se infiltra en el suelo.

La mala administración del agua es un problema importante y muy delicado ya que depende de parámetros muy específicos y difíciles de controlar como son:

- los valores y actitudes de los usuarios por una mala percepción de la disponibilidad del recurso y de la contaminación del mismo (debido a una falta de conciencia y/o de educación)
- la poca importancia otorgada al mantenimiento por parte del proveedor del servicio y de los usuarios
- el no uso de instalaciones de bajo consumo
- la falta de medidas gubernamentales que promuevan un uso eficiente del agua
- la mezcla de aguas residuales como práctica común ya que se dificultan el reuso y el reciclaje del agua. A veces, una vez mezclados los elementos pierden sus propiedades útiles y no pueden ser separados fácilmente. La orina es un buen ejemplo de esto puesto que diluida pierde su capacidad de generarse y ya no tiene utilidad; sin embargo, la orina sola puede tener varias aplicaciones (como fertilizador por ejemplo). [27]

Seguir usando el agua de esta manera no sustentable puede causar problemas de salud, ambientales y económicos. Por eso, es importante pensar en cómo es posible utilizar mejor el agua, con un mínimo de desperdicio. Por esta razón, esta investigación se propone evaluar el nivel de sustentabilidad de la gestión del agua (principalmente en su uso doméstico) en el área metropolitana de Monterrey y de determinar las áreas de oportunidad de mejora a fin de tener una gestión más sustentable del agua.

Para efectos de esta investigación, se define la gestión del agua como el manejo del agua (para uso domestico) en todo su ciclo de vida. Esto incluye principalmente:

- gestión de los recursos naturales (extracción, recarga, contaminación, entre otros)
- gestión económica (o sea que se pague un valor cerca del valor real del agua, internalización de los costos de tratamiento, mantenimiento y operación de las redes de alcantarillado y drenaje, entre otros)
- administración del sistema (infraestructuras, eficiencia del sistema, pérdidas en la red, abastecimiento, saneamiento, etc.)
- sistema legal (leyes, normas, etc.)
- educación y concientización (y conciencia) de los usuarios (consumos por sector, etc.).

### 1.1.2 Definición del problema:

Con el crecimiento de la población y el crecimiento urbano, el problema de escasez del agua se hace más presente. Uno de los factores es que se consume más agua por persona hoy de lo que se hacía en el pasado pero con la misma cantidad de agua disponible en la tierra. A esto se añade el crecimiento urbano que suele crear problemas para abastecer toda la población en agua. Como consecuencia de este aumento de consumo de agua, se incrementa la cantidad de agua residual. Esta tiene que ser tratada y este tratamiento cuesta, además de un costo financiero, implica un costo ambiental (materias primas, energía, disminución de la disponibilidad, etc.).

Aquí, se plantea el problema de cómo tener una gestión sustentable del agua. Es decir cómo hacer para que el uso del agua tenga un impacto mínimo en el medio ambiente y una utilidad máxima.

En Monterrey, la población se duplicó en los últimos treinta años al mismo tiempo que aumentó el consumo de agua y la cantidad de aguas residuales (no necesariamente en las mismas proporciones). Pero el problema es aún más importante ya que Monterrey se encuentra en un área semi-árida. Son las razones por las que se vuelve más y más importante determinar las áreas de oportunidad de mejora para una gestión más sustentable del agua.

“En el AMM es necesario desarrollar programas y establecer acuerdos con el fin de que la urbanización y la conservación confluyan. Para lograrlo se requiere de políticas efectivas promovidas y coordinadas desde los diferentes niveles de gobierno de la participación activa de la sociedad.” [29]

### **1.1.3 Objetivo:**

El objetivo principal del proyecto es evaluar el nivel de sustentabilidad del sistema de gestión del agua en el área metropolitana de Monterrey e identificar las áreas de oportunidad de mejora.

Para alcanzar este objetivo se necesita principalmente:

- conocer el comportamiento, la concientización de los usuarios (principalmente domésticos) en relación con el agua para entender cómo se utiliza el agua
- determinar procesos en los que se utiliza el agua y analizar ahorros potenciales en el consumo de agua
- estudiar los sistemas de abastecimiento de agua y de tratamiento y disposición de agua residual como elementos principales de la gestión urbana.

### **1.1.4 Contribución:**

La contribución de esta tesis es haber condensado la información existente para ser explotada en un modelo DSPiR (igual al que se usó para el estudio de la Cooperación Científica México-Suecia sobre *Sistemas Hídricos Sustentables: Estudio para la ciudad de Querétaro y sus alrededores*) y dar una base para identificar que falta para tener un criterio robusto, que comunique fácilmente y que sea trazable en el tiempo, aunque aun falta por hacer en este tema en información relevante, investigaciones, etc.

A pesar de que se tuvo un componente subjetivo importante, se realizó esta investigación con seriedad y compromiso porque son las bases para las futuras investigaciones en este tema.

### **1.1.5 Alcance:**

Por medio de indicadores de sustentabilidad y con el estudio de los parámetros sociales, ambientales y económicos se espera determinar el nivel de sustentabilidad actual de la gestión del agua e identificar áreas de oportunidad de mejora para el área metropolitana de Monterrey y otras zonas similares.

Globalmente se ha planteado definiciones a nivel global. Sin embargo, el problema es regional y este trabajo de investigación busca considerar el desarrollo sustentable. Hay conciencia de que, debido a las condiciones geográficas del AMM y a que la cantidad de agua disponible no va a aumentar, la única opción es aprender a hacer un mejor uso de la misma para el beneficio de la región y sus habitantes.

## 1.2. Agua y desarrollo sostenible

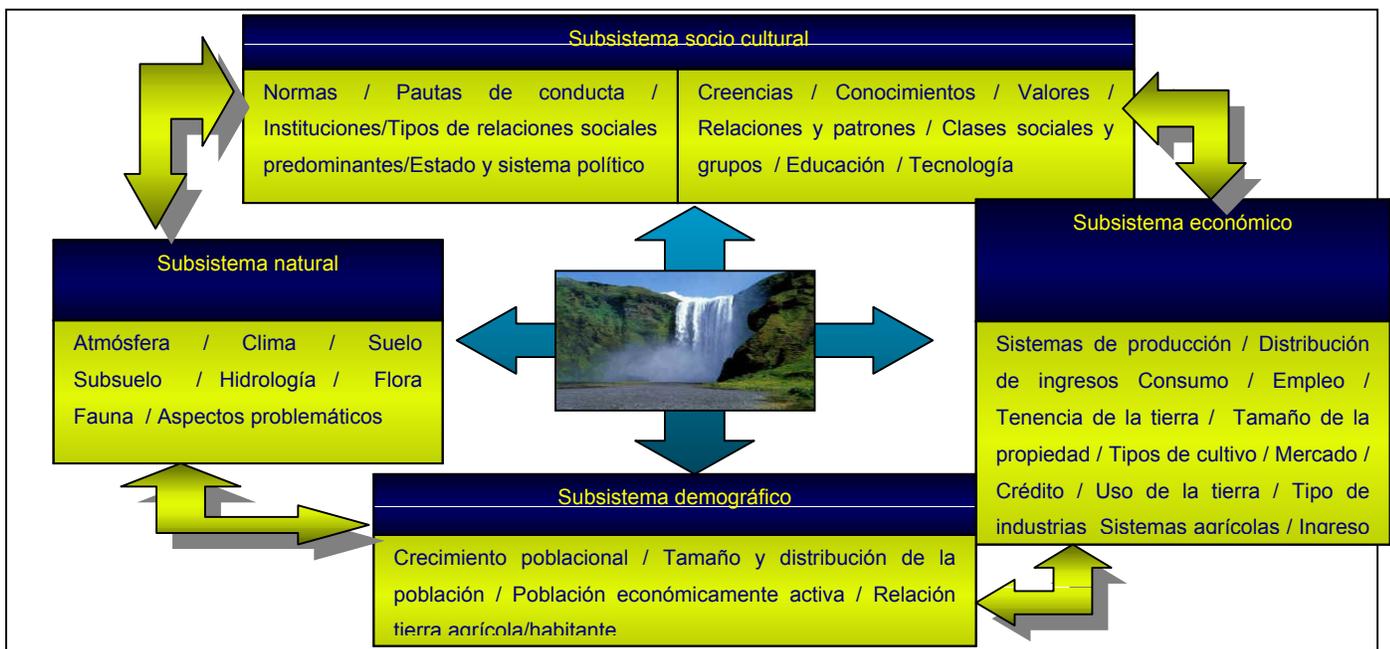
La declaración de Río presenta el desarrollo sostenible como un desarrollo que “satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la habilidad de generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

La Agenda 21 (capítulo 18) definió el desarrollo sostenible para el agua. “El agua es necesaria en todos los aspectos de la vida. El objetivo general es asegurar el abastecimiento adecuado de agua de buena calidad para toda la población del planeta, preservando las funciones hidrológicas, biológicas y químicas del ecosistema, adaptando las actividades humanas a los límites de capacidad de la naturaleza y combatiendo las enfermedades relacionadas con el agua.”

La declaración del Milenio de las Naciones Unidas (2000) reconoce la necesidad de establecer “estrategias de gestión del agua a niveles regionales, nacionales y locales a fin de promover tanto el acceso a todos como el abastecimiento adecuado para la explotación sostenible de los recursos de agua.” [44]

“El ciclo del agua en el mundo no parece capaz de adaptarse a la demanda que existirá en las próximas décadas” según el reporte GEO 2000 (UNEP 1999).

Enseguida, se estudia el papel del agua en cada una de las áreas del desarrollo sostenible: social, económico, y ambiental. Se puede ver en las Figuras 1.1 y 1.2 una representación de esto.



Fuente: IMTA [17]

**Figura 1.1: Agua y desarrollo sustentable**

### **1.2.1. El agua y el desarrollo social:**

El agua tiene un papel importante en el desarrollo social principalmente porque sin ella no puede haber vida. Además, el agua se necesita en la industria alimentaria para producir alimentos que son necesario para la vida. También permite a la gente mantener una buena higiene ya que permite bañarse, lavarse los dientes, etc. Sin olvidar el hecho de que el agua puede transmitir muchas enfermedades. Entonces, una buena calidad de agua favorece un buen desarrollo social. Un buen acceso al agua para la gente pobre permite reducir la pobreza. [44]

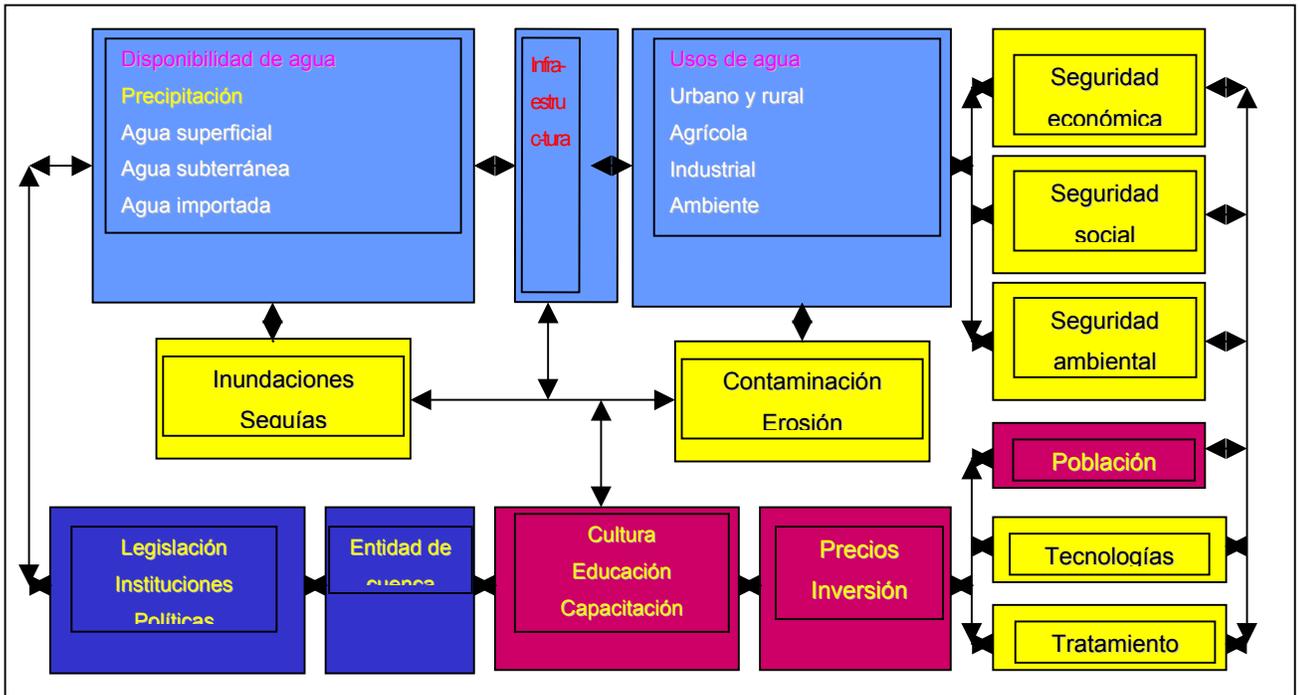
### **1.2.2. El agua y el desarrollo económico:**

El papel más importante del agua en el desarrollo económico es su papel en la agricultura. Además, el agua es una materia prima en muchas industrias y permite la generación de energía. Hay que mencionar también su papel para el transporte. Lo que impide el desarrollo económico son el abastecimiento suficiente, los tratamientos adecuados, la falta de medicamentos relacionados con las enfermedades transmitidas por el agua, el costo del no trabajar de la gente enferma, entre otros.

### **1.2.3. El agua y el medioambiente:**

El agua tiene un papel muy importante en el medioambiente ya que es fuente de vida tanto en la flora como en la fauna o sea en la conservación de los recursos naturales. Reducir la disponibilidad del agua dulce en la tierra o contaminarla tiene efectos devastadores en los diferentes ecosistemas. Estos impactos se deben principalmente a la extracción de agua del medioambiente, a la construcción y el uso de redes de alcantarillado y drenaje y plantas potabilizadoras y de tratamiento, al retorno del agua en el medioambiente.

La gestión del agua en un enfoque sostenible depende de varios parámetros como se puede ver en la Figura 1.2.



Fuente: IMTA [17]

**Figura 1.2: Sustentabilidad del sistema de gestión del agua**

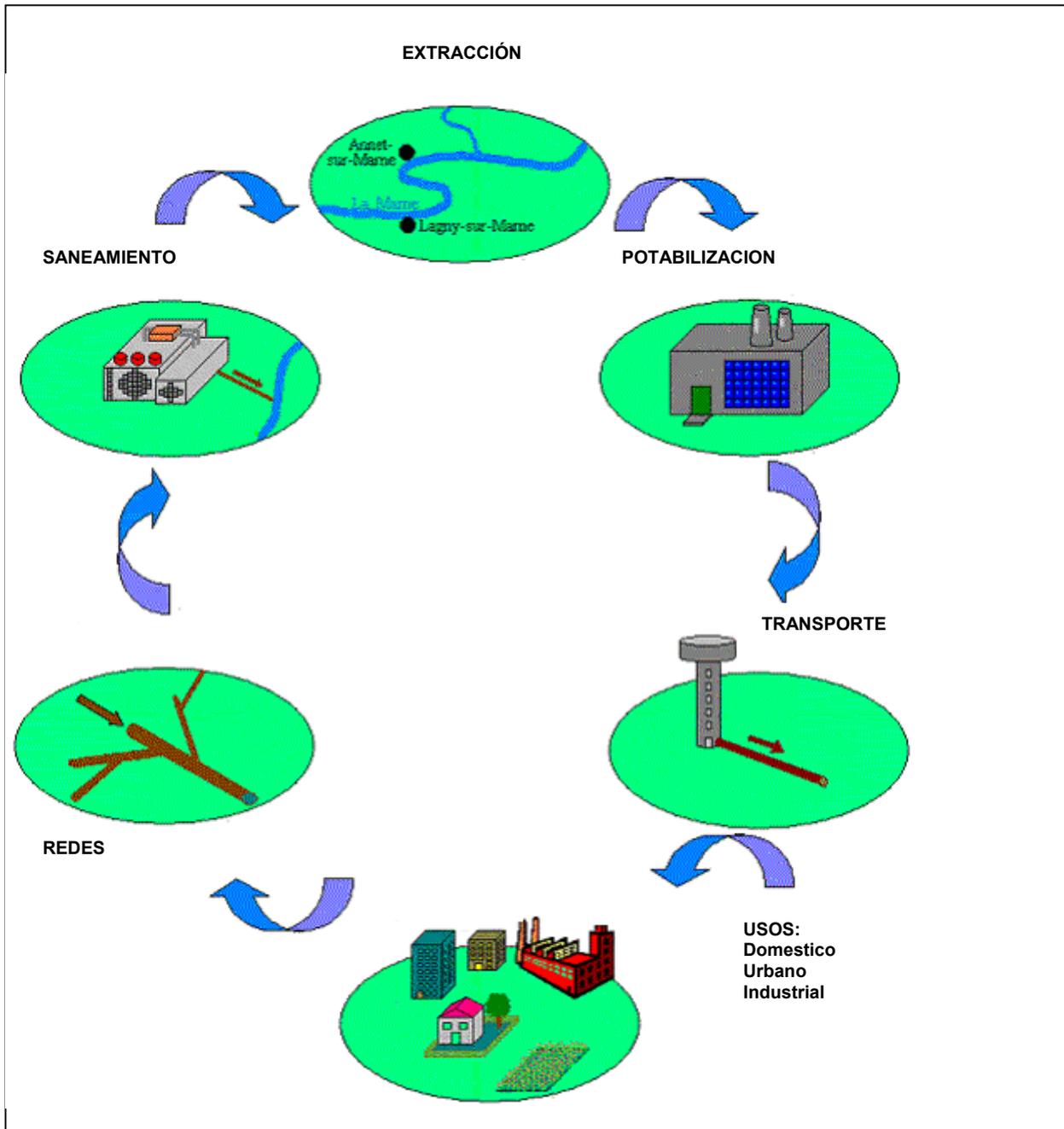
Por las razones evocadas en lo anterior, se ve la importancia de considerar todos los aspectos (sociales, económicos y ambientales) de manejo del agua en todo su ciclo de vida para tener un uso sustentable del agua.

### 1.3 Situación del agua

En esta parte se explica lo que se entiende por ciclo de vida del agua y después se presenta la situación del agua en el mundo y en México.

#### 1.3.1 Ciclo del agua para uso humano

La Figura 1.3 presenta el ciclo del agua, el cual considera 6 etapas importantes.



Fuente: SIARL[42]

Figura 1.3: Principales datos sobre el uso urbano del agua en el mundo

Primero el agua se extrae de las fuentes para ser tratada y transportada a donde se usa antes de ser desechada a las redes de evacuación, tratada y dispuesta de nuevo a las fuentes naturales.

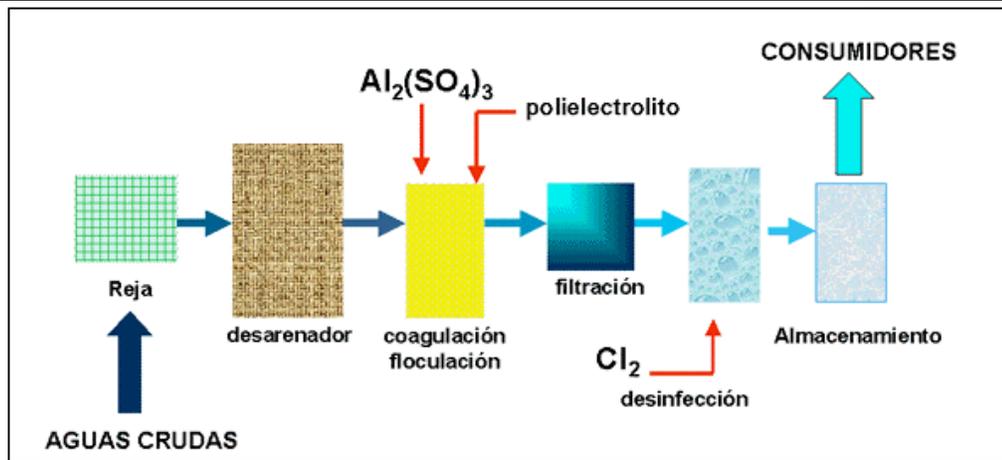
La extracción tiene impactos importantes en el ambiente si es superior a la recarga porque provoca el agotamiento del recurso. La potabilización y el saneamiento tienen un papel muy importante en la evaluación del nivel de sustentabilidad ya que la contaminación del agua tiene importantes impactos económicos, en la salud humana, en la biodiversidad y en el medioambiente. Entonces, es importante tener plantas eficientes de tratamiento de agua. Es la razón por la que en este capítulo se van a repasar las diferentes fuentes de contaminación y tratamientos de aguas residuales.

### **1.3.1.1 Extracción**

En general, el agua se extrae del medioambiente en las aguas superficiales, las aguas subterráneas o bien las aguas pluviales (aunque menos común ya que en general no existen estructuras apropiadas). Se necesita la construcción de estructuras permitiendo la extracción y el transporte hacia la planta potabilizadora lo que requiere de recursos económicos y tiene impactos en el medioambiente. Este proceso requiere de energía. Una extracción no apropiada puede resultar en impactos tan fuertes como el desecamiento o cambios en la biodiversidad (extinciones de especies), entre otros.

### **1.3.1.2 Potabilización**

El agua natural, cruda o impura, puede provenir de ríos, lagos, embalses o de fuentes subterráneas. El tratamiento de estas aguas suele constar de varias etapas. En el caso de una fuente superficial, el tratamiento convencional comprende las etapas de filtración gruesa, sedimentación mediante el proceso físico-químico de coagulación-floculación, filtración por arena y desinfección (Figura 1.4). Se necesita la construcción de estructuras permitiendo la potabilización lo que requiere de recursos económicos y tiene impactos en el medioambiente. Este proceso requiere de energía.



Fuente: [33]

**Figura 1.4: Potabilización (Tratamiento convencional)**

### 1.3.1.3 Alcantarillado

El agua potable se puede después almacenar y distribuir a los diferentes usuarios por medio de las redes de agua potable. Este proceso requiere también la construcción de redes y el uso de energía.

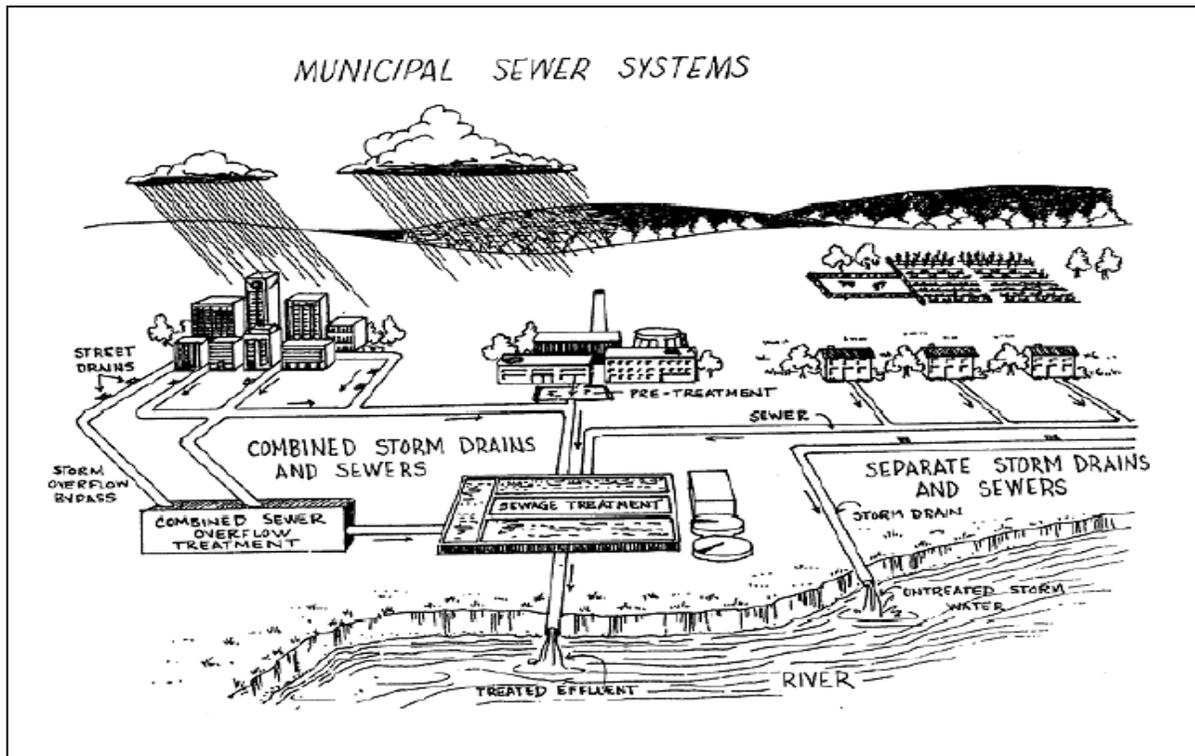
### 1.3.1.4 Uso

Se refiere al uso en general del agua; doméstico, industrial, comercial, público o agrícola. Se requiere también de la construcción de estructuras específicas (como una llave por ejemplo). El uso provoca la contaminación del agua y puede causar impactos ambientales o en la salud.

### 1.3.1.5 Saneamiento

El agua llega al usuario y este mismo la contamina al usarla. Por esto se necesita un tratamiento antes de regresarla a la naturaleza. Se necesita la construcción de estructuras permitiendo la potabilización, lo que requiere de recursos económicos y tiene impactos en el medioambiente. Este proceso requiere de energía.

La Figura 1.5 presenta la forma típica que toma un sistema de recolección y de tratamiento de aguas residuales.



Fuente: [50]

**Figura 1.5: Sistema municipal de saneamiento**

Existen diversas fuentes de aguas residuales:

- ✓ los residuos líquidos del uso doméstico, público y comercial
- ✓ las aguas pluviales y aguas de mantos subterráneos
- ✓ los residuos humanos y animales
- ✓ los residuos industriales líquidos

Los residuos del uso doméstico son los residuos producidos en la utilización de baños, cocina y lavado, los cuales contienen materias jabonosas, detergentes, grasas, restos de alimentos y alimentos sintéticos. Los desechos fecales y la orina son los residuos humanos y animales. Pueden transportar organismos patógenos que afectan la salud humana. Hay muchos tipos de residuos industriales líquidos. Algunos ejemplos son: metales, productos químicos y elementos sólidos. Muchos tienen serios efectos nocivos. Al irse al alcantarillo, el agua de lluvia lleva polvo, arena, hojas y ramas de árboles, pasto y otros elementos que se combinan con los otros residuos líquidos. Esta contaminación provoca un aumento en la DBO y el oxígeno disuelto del agua no es suficiente por lo que la naturaleza no puede realizar sola el proceso de autopurificación de los cursos de agua. Por esas razones, el hombre debe purificar las aguas residuales antes de disponerlas en los cursos naturales de agua.

El contenido de las aguas residuales típicas se puede ver en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1: Contenido de contaminantes típicos en el agua residual**

<b>Agua Potable</b>	<b>Sólidos</b>	<b>Gases Disueltos</b>	<b>Componentes Biológicos</b>
<b>99,9%</b>	<b>0,1%</b> (por peso) Suspendidos/ Disueltos/ Coloidales /Sedimentables  Para poder reutilizar el agua es necesario remover este porcentaje.	O2 CO2 H2S N2	Bacterias Micro y macroorganismos Virus

Fuente: Lenntech[26]

Los principales contaminantes que se tienen que remover por medio de tratamiento son: Residuos Sólidos, DBO, DQO, Acidez, Alcalinidad, Grasas, Aceites, Grasas animales, Gases, Solventes, Nutrientes, Metales pesados, Compuestos Orgánicos Persistentes, etc.

En la Tabla 1.2, se pueden ver diferentes tipos de contaminación del agua tanto como la(s) fuente(s) de generación.

**Tabla 1.2: Tipo y fuente de contaminación del agua**

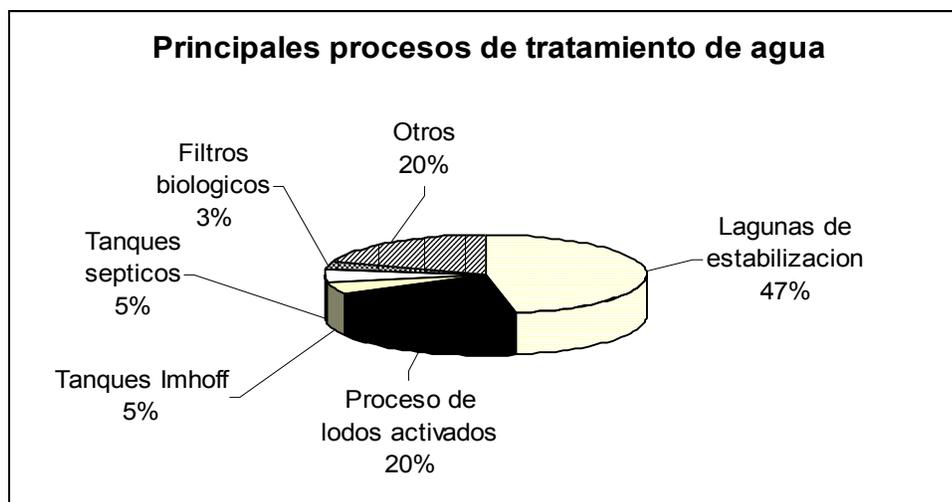
<b>Tipo de contaminación</b>	<b>Tipo</b>	<b>Fuente</b>
<b>Contaminación térmica</b>	Rechazo de agua caliente	Centrales eléctricas
<b>Contaminación radioactiva</b>	Radio-isótopos	Instalaciones nucleares
<b>Micro-biológica</b>	Bacterias, virus...	Efluentes urbanos, cría de ganados, sector agroalimentario
<b>Orgánicos Fermentativos</b>	Carbohidratos, proteínas, lípidos	Efluentes domésticos, agrícolas, industrias agroalimentarias et de madera
<b>Fertilizantes (abonos)</b>	Nitratos, fosfatos	Agricultura, lejía
<b>Metales y componentes metálicos tóxicos</b>	Mercurio, calcio, plomo, aluminio, arsénico	Industria, agricultura, combustión, lluvias ácidas
<b>Pesticidas</b>	Insecticidas, fungicidas, herbicidas	Agricultura, industria
<b>Detergentes</b>	Agentes tensoactivos	Efluentes domésticos
<b>Hidrocarburos</b>	Petróleo crudo y derivados	Industria petrolera, transportes
<b>Compuestos organoclorados</b>	P.C.B., insecticidas, solventes con cloro	Industria
<b>Otros compuestos orgánicos de síntesis</b>	Numerosas moléculas	Industria

Fuente: Lenntech[26]

El tratamiento convencional de agua residual en una planta de tratamiento puede incluir los siguientes pasos como se representa en el Apéndice 7: tratamiento primario, secundario, y avanzado (Terciario y Desinfección). En el tratamiento primario de las aguas residuales se filtran objetos como palos, trapos, y rocas usando parillas de barros y se remueven los sólidos suspendidos (dirigidos a otro depósito de sedimentación) usando tanques de sedimentación. El tratamiento secundario usa

procesos biológicos en los cuales los desperdicios se descomponen por medio de bacterias. Al pasar por tanques de aireación, el agua residual se satura de aire y se le revuelven los desperdicios para ayudar a que crezcan las bacterias. Las bacterias se pegan a los sólidos suspendidos; los cuales se acumulan en el fondo del tanque de sedimentación secundario. El proceso de tratamiento avanzado incluye filtración por arena o grava, desinfección (cloro, luz ultravioleta, u ozono) para matar las bacterias peligrosas o patógenas.

En la Gráfica 1.1, se presentan los principales procesos de tratamiento de aguas residuales. Se puede ver que el uso de lagunas de estabilización y el proceso de lodos activados son los más utilizados (en México, los más comunes son los procesos de lodos activados).



Fuente: Lenntech [26]

**Gráfica 1.1: Principales procesos de tratamiento de aguas residuales**

### 1.3.1.6 Reuso o regreso a la fuente

Las aguas tratadas se regresan finalmente a su fuente o bien se reusan. En efecto, el agua residual tratada, considerada limpia, puede ser re-utilizada en riego o en la industria o puede descargarse a una fuente natural (si cumple con las normas). El costo del agua potable está aumentando constantemente, las concesiones para la extracción del agua subterránea son cada vez más difíciles y los costos de tratamiento son caros. [26]

Todas estas razones hacen que el reuso puede, además de permitir el ahorro de agua, disminuir el costo debido a la eliminación de las aguas residuales.

Se presentan varias formas de reuso:

- Reutilización en la industria
- Utilización del agua como agua enfriadora o de limpieza
- Irrigación
- Utilización para limpieza de las áreas públicas
- Uso de los biosólidos (los sólidos del agua residual que cumplen ciertas normas adicionales para ser reusados son llamados biosólidos y pueden usarse como fertilizantes. Esto es importante ya que cada ser humano produce aproximadamente 90.7kg de biosólidos en un año)

### 1.3.1.6 Impactos

Como se vio, cada etapa del ciclo del agua para uso humano tiene impactos en las diferentes dimensiones del desarrollo sostenible. En el social, porque si las infraestructuras no son suficientes toda la gente no tendrá agua (necesaria para vivir y producir alimentos) y si no son apropiadas resultara en efectos en la salud entre otros. En lo económico porque se necesita construir y mantener estructuras y se requiere de energía entre otros. En el medioambiente porque se contamina el recurso, provoca cambios en la biodiversidad, desecación, etc.

### 1.3.2 Situación del agua en el mundo

Como se ha dicho en la introducción, la población ha aumentado mucho durante el siglo y la tendencia sigue en aumento. Sin embargo, la cantidad de agua dulce se mantiene estable. En el mundo, el consumo de agua en el mundo se ha duplicado en el siglo XX y la agricultura es la que consume más agua.

En cuanto a consumos domésticos, la Tabla 1.3 muestra como varía según los países, el consumo diario promedio de agua.

**Tabla 1.3: Consumos domésticos de agua por día por habitante por país**

País	Consumo (l/cáp/día)	País	Consumo (l/cáp/día)	País	Consumo (l/cáp/día)
Canadá	326	Corea	183	Alemania	129
USA	295	Grecia	175	País Bajo	129
Japón	278	Suiza	164	Bélgica	112
Australia	268	Dinamarca	159	Hungría	101
Suecia	252	Reino Unido	153	Bulgaria	101
Finlandia	213	Austria	153	Polonia	98
Italia	213	Luxemburgo	150	Republica checa	95
España	200	Irlanda	142		
Portugal	194	Francia	137		

Fuente: Eurostat 2001, IFEN 2002 [15][16]

Sin embargo estos son promedios y varían mucho según, por ejemplo:

- ✓ **La región:** las regiones más calidas consumen volúmenes mayores.
- ✓ **El modo de vida:** los consumos urbanos son mayores a los rurales.
- ✓ **Los períodos:** los consumos aumentan un 40% en verano en comparación con el promedio anual y de 30% en los fines de semana. [42]

Otra cosa es que no solo los consumos difieren sino que también los usos domésticos del agua. La Gráfica 1.2 muestra los diferentes consumos domésticos de agua en varios países.

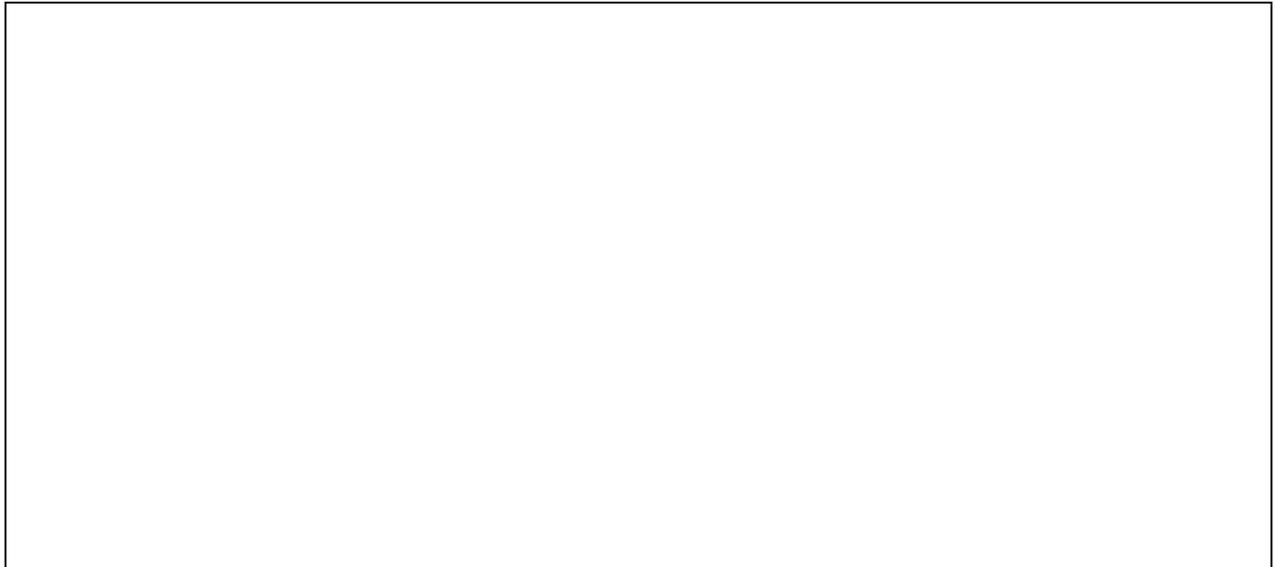
/

Fuentes: [42],[34],[49]

**Gráfica 1.2: Consumos domésticos promedios de agua en varios países**

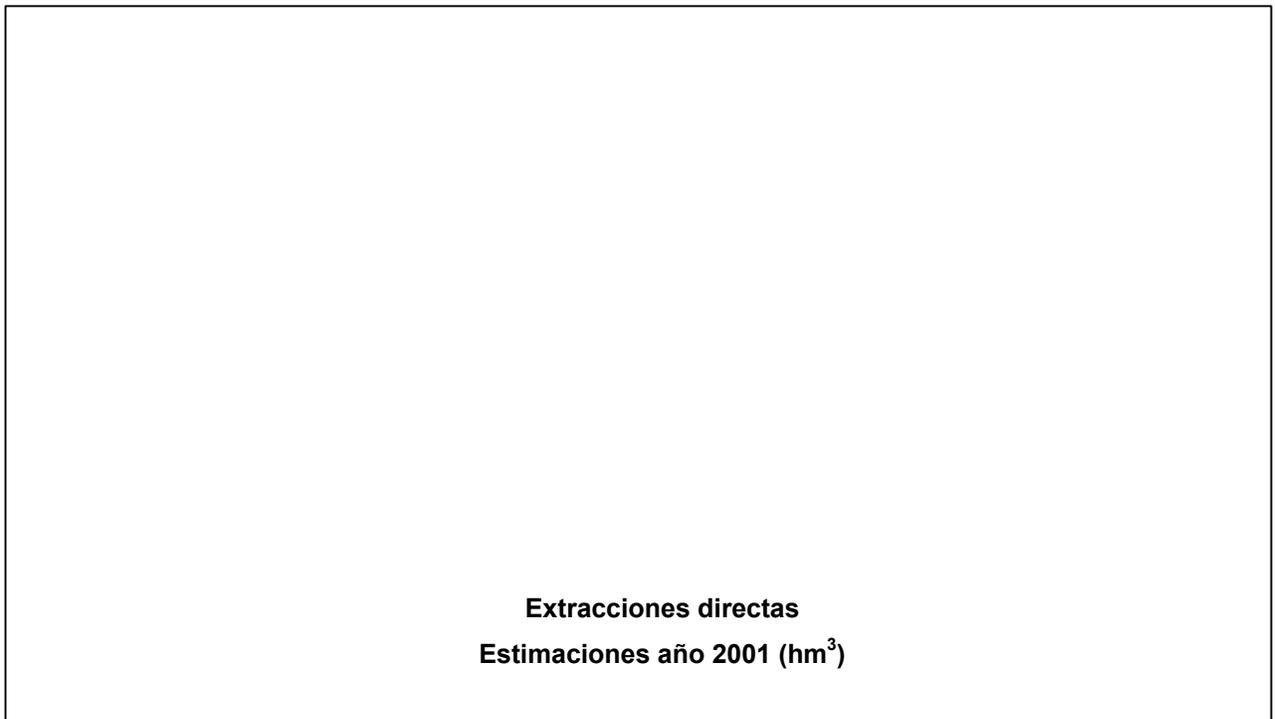
### 1.3.3 Situación del agua en México

La situación en cuanto a la disponibilidad del agua no es la misma según las regiones. En efecto, el Sur de México tiene un clima húmedo al contrario del Norte. La disponibilidad en el Golfo Sur es más de cien veces más grande que la del Valle de México como se puede ver en la Figura 1.6.



Fuente:[8]

**Figura 1.6: Disponibilidad de agua por región hidrológica**



**Extracciones directas  
Estimaciones año 2001 (hm<sup>3</sup>)**

Fuente: CNA[8]

**Figura 1.7: Uso para abastecimiento público**

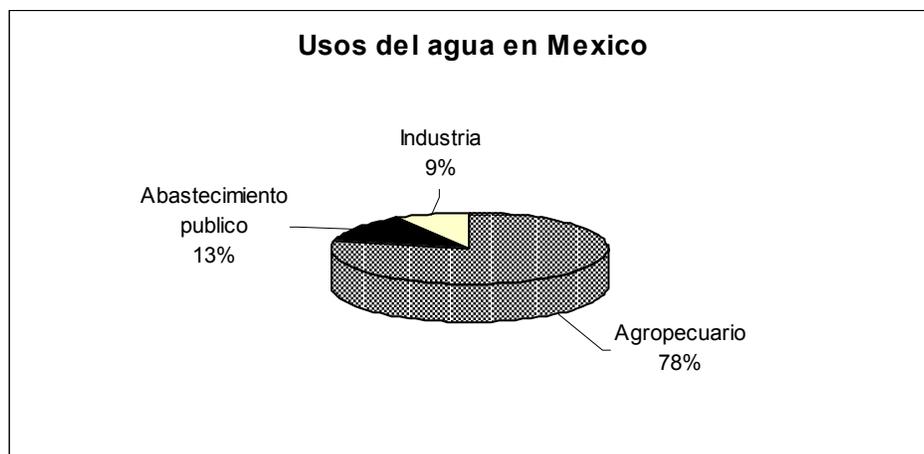


Fuente: CNA[8]

**Figura 1.8: Uso para industria (\*)**

El abastecimiento público incluye los usos público urbano y doméstico, (ver el Apéndice 3 Artículo 2 del Reglamento de la Ley de Aguas Naturales -LAN). (\*)La industria corresponde a los usos industriales, de servicios y generación de energía eléctrica (excepto hidroeléctricas) y el uso comercial. En el área metropolitana de Monterrey (AMM), la fuente principal de agua es el agua superficial (60%).

En México, el uso del agua se reparte como se puede ver en la Gráfica 1.3.

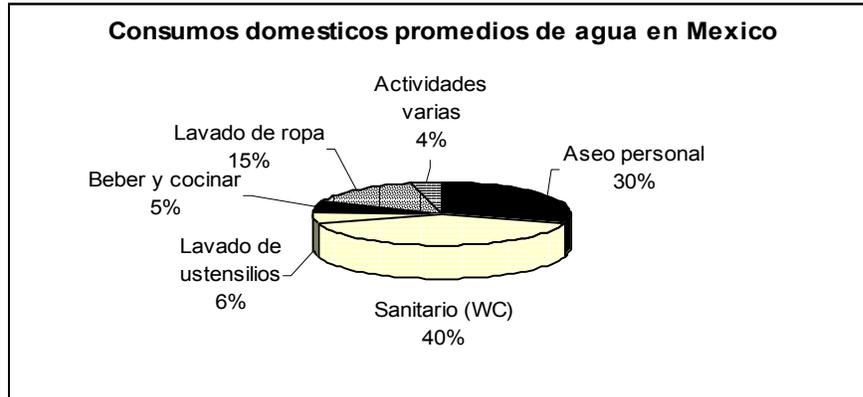


Fuente: CNA[8]

**Gráfica 1.3: Usos del agua en México**

Se puede ver que, como en la mayoría de los países en desarrollo, el uso más importante del agua es el uso agrícola ya que representa casi 80% del total. Los otros 20% se dividen entre el uso público e industrial.

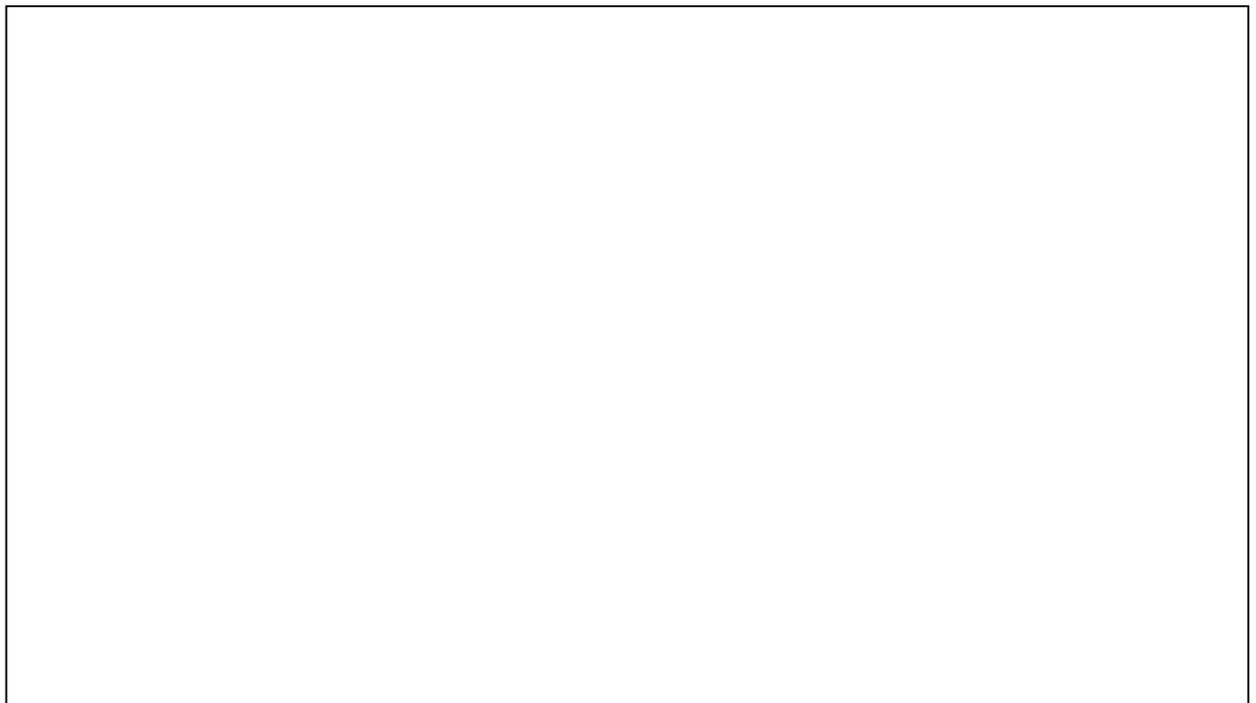
En México, el uso doméstico se reparte como en la Gráfica 1.4, el 70% siendo por aseo personal y sanitario.



Fuente: INEGI, 1999[18]

**Gráfica 1.4: Consumos domésticos promedios de agua en México**

Como se ha dicho antes, un problema es el aumento en el consumo de agua. México también tiene un consumo de agua mucho más importante ahora en comparación con el principio del siglo. Sin embargo, parece que el consumo de agua por familia se estabiliza un poco en los últimos años (Gráfica 1.5).



Fuente: CNA [8]

**Gráfica 1.5: Consumo promedio de agua por familia en México (m<sup>3</sup>)**

Un principio utilizado en México es el de “El que más consume, más paga” como se puede ver en la Gráfica 1.6 aunque la tarifa varía dependiendo de la ciudad. Monterrey tiene un precio menor en comparación con otras ciudades como por ejemplo Tijuana y Aguascalientes. El aumentar el precio del agua para que la gente no desperdicie tanta agua como ahora, para que se enteraran del precio real del agua es un parámetro económico que incentiva a la sustentabilidad. Se estudiarán con más detalles los parámetros económicos en el capítulo V.



Fuente: CNA [8]

### **Gráfica 1.6: Tarifas para uso doméstico de agua potable en algunas ciudades**

En resumen, en México: la población urbana incrementa, la disponibilidad del agua es variada según las regiones, el uso principal es el uso agropecuario, los consumos domésticos más altos se deben principalmente al aseo personal y a los sanitarios, en el país las tarifas son muy bajas comparadas con otros países (como se verá en el capítulo 4 y en la Tabla 4.2).

La situación a escala mundial es más o menos igual ya que la población mundial aumenta sin que la disponibilidad de agua cambie, la agricultura es la mayor consumidora de agua y aunque los consumos domésticos varían mucho entre un país y otro o hasta en un mismo país según el período del año, los hábitos domésticos que consumen más agua son el aseo personal y los sanitarios.

## 2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN EN EL AMM

En este capítulo se presenta la situación actual del Área Metropolitana de Monterrey (AMM). En una primera parte, se hace una descripción de la situación geográfica, extensión territorial, parámetros demográficos e importancia económica de la región. En una segunda parte se caracterizan y clasifican la industria en el AMM y el parque vehicular. En una tercera parte se hace una descripción de la situación del AMM en cuanto al consumo de agua.

### 2.1. El Área Metropolitana de Monterrey:

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM) comprende 8 municipios: Apodaca, Guadalupe, General Escobedo, García, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García y Santa Catarina. El AMM ocupa una superficie de 2,434 km<sup>2</sup> lo que representa un 3.7% de la superficie total del estado de Nuevo León. Monterrey está ubicado en 25°41'00" latitud Norte y 100°19'02" longitud Oeste (del meridiano de Greenwich). Se sitúa a una altura de 540 m sobre el nivel del mar. Cuatro ríos y dos arroyos atraviesan el AMM. Estos son respectivamente: La Silla, San Juan, Pesquería, Santa Catarina, Topo Chico y Arroyo Seco.

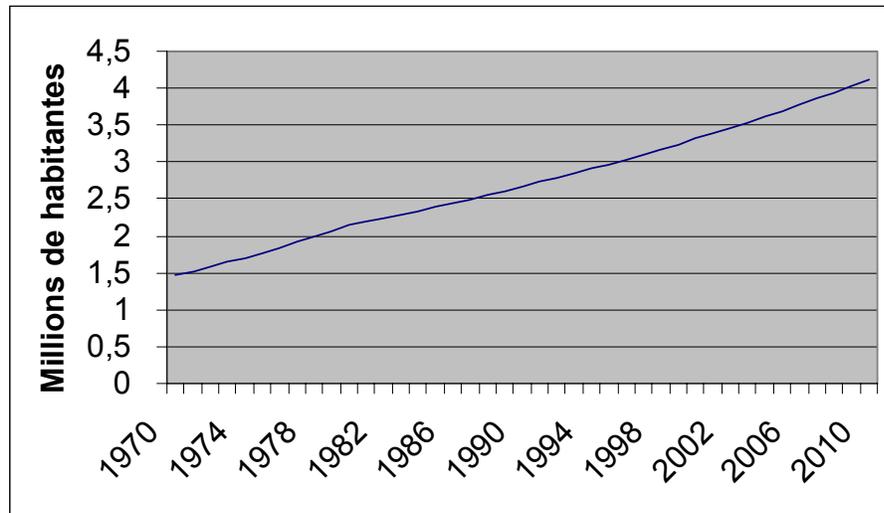
**Tabla 2.1: Población en el AMM en el 2000 según municipio**

	Población (2000)	Número de empleos	(% de empleos)
Apodaca	279 376	103096	8.7
García	30 571	9495	0.8
San Pedro Garza García	127 076	49520	4.2
General Escobedo	225 472	81853	6.9
Guadalupe	705 541	251540	21.1
Monterrey	1 061 579	421944	35.4
San Nicolás de los Garza	536 940	186035	15.6
Santa Catarina	246 833	87002	7.3

Fuente: INEGI[18]

La población en el AMM en el año 2000 se componía de 3,213,388 habitantes (Tabla 2.1) repartidos casi igualmente entre los dos sexos (en comparación con

2'946,533 en 1995) y principalmente en Monterrey, Guadalupe y San Nicolas de los Garza. Los dos tercios tienen entre 15 y 64 años. La migración es una causa importante del aumento de la población. En efecto, solo un cuarto de la población nació en la ciudad. El área metropolitana de Monterrey es la más poblada del estado de Nuevo León y sufre un crecimiento continuo. En el periodo 1970-1980, la tasa de crecimiento promedio anual de la población en Monterrey era de 3.9%; en el periodo 1980-2000 era de 2.2%. Así, en treinta años, la población de Monterrey se ha duplicado como se pudo ver en la Gráfica 2.1.



Fuente: INEGI[18]

**Gráfica 2.1: Población en Monterrey 1970-2010**

En el AMM existen áreas verdes para la protección de la biodiversidad (flora y fauna) de la zona (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2: Áreas verdes en Nuevo León**

TIPO DE AREA	MUNICIPIO	LOCALIDAD	HECTAREAS
PARQUES NACIONALES	APODACA, SANTA CATARINA, GARCIA, SAN PEDRO GARZA GARCIA, GUADALUPE, MONTERREY, SAN NICOLAS DE LOS GARZA Y SANTIAGO	"CUMBRES MONTERREY"	255
AREAS DE PROTECCION DE FLORA Y FAUNA SILVESTRE Y ACUATICA	GARCIA	"CERRO DE LA MOTA"	9,667
		"SIERRA CORRAL DE LOS BANDIDOS"	1,272
	GARZA GARCIA, SANTA CATARINA, MONTERREY Y GENERAL ESCOBEDO	"CERRO DEL PEÑON"	20,211
		"CERRO DE PICACHOS"	697
		"SIERRA DE LAS MITRAS"	4,344
	MONTERREY GENERAL ESCOBEDO	"SIERRA EL FRAILE"	24,836
		"CERRO DEL TOPO"	1,189
MONUMENTOS NATURALES	GUADALUPE	"CERRO DE LA SILLA"	6,045

Fuente: Data de Nuevo León [13]

## **2.2. Caracterización de las industrias:**

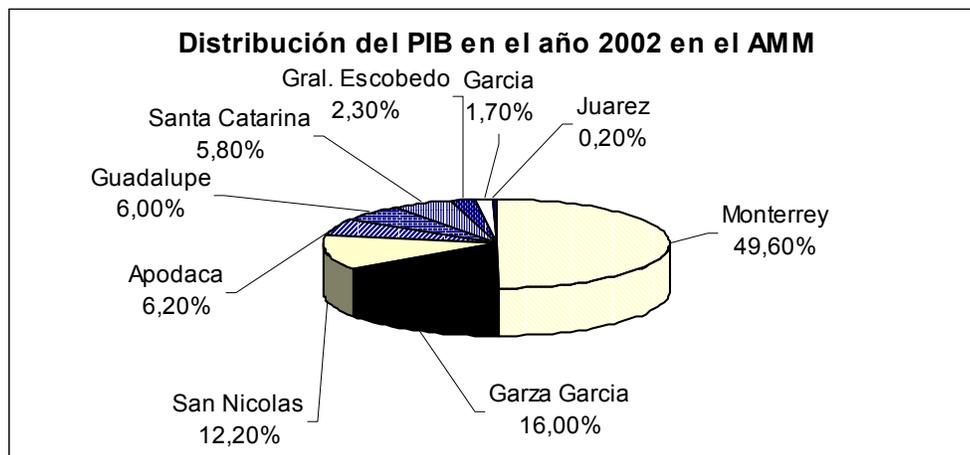
Durante los primeros años del siglo XX, el desarrollo industrial de Monterrey se convierte en un proceso no interrumpido que llegó a miles de industrias dentro del área metropolitana cuyas ramas preponderantes son acero, vidrio, cervecera, autos, cemento, cerámica, textiles y alimentos. Hoy, se encuentran asentados en Monterrey varios de los Grupos Industriales más importantes del país. Se estima que los giros industriales que contaminan más el agua, el suelo y el aire son los siguientes ([35]):

- ✓ Siderúrgico;
- ✓ Químico;
- ✓ Metalúrgico;
- ✓ del cemento;
- ✓ del vidrio;
- ✓ del celulosa y papel.

Las industrias que consumen más agua son las industrias del vidrio y las industrias químicas. Después siguen las del papel y las agroalimentarias.

El AMM ha tenido en los últimos años un gran desarrollo industrial y tecnológico. La Tabla 2.2 muestra la población ocupada por municipio en el año 2000. Esta

representa 1'190,093 personas de todos los sectores contenidos en el AMM. Además, casi el 50% de la población trabaja en el AMM.



Fuente: [14]

**Gráfica 2.2: Distribución del PIB en el año 2002 en el AMM**

En la Tabla 2.3 se presenta la población ocupada y el PIB según el sector de actividad en el AMM en el año 2000. Se puede ver que un 40,5% en los sectores de agricultura, minería, electricidad y agua, construcción, industrias manufactureras. La población ocupada en el área metropolitana de Monterrey trabaja principalmente en los sectores de maquinaria y equipo, alimentos, bebidas y tabaco y minerales no metálicos y químicos.

**Tabla 2.3: Personal ocupado por actividad manufacturera en el año 1998 en el AMM**

Actividad	PIB (Miles de pesos)	Empleo
Alimentos, bebidas y tabaco	5'337,370	46,917
Textiles, vestido y cuero	1'227,192	24,942
Madera y sus productos	498,915	11,039
Papel, imprenta y editoriales	1'037,253	21,396
Químicos	3'119,717	41,265
Minerales no metálicos	4'067,777	27,434
Industrias metálicas básicas	2'178,143	11,837
Productos metálicos, maquinaria y equipo	9'000,950	153,866
Otras manufacturas	478,942	6,139

Fuente: [14]

**Tabla 2.4: Número de empresas, por tipo de actividad y tamaño en el AMM y todo el estado de Nuevo León**

MUNICIPIO	MICRO	PEQUENAS	MEDIANAS	GRANDES	INDUSTRIA	COMERCIO	SERVICIOS	TOTAL
Apodaca	742	67	55	32	112	650	134	896
San Pedro Garza García	95	16	16	9	112	672	746	1,530
General Escobedo	1,269	169	57	35	63	428	91	582
Guadalupe	493	50	26	13	295	2,509	632	3,436
Monterrey	3,069	248	78	41	1,145	6,757	3,638	11,540
San Nicolás de los garza	9,556	1,345	441	198	252	1,836	613	2,701
García	2,287	256	95	63	38	79	19	136
Santa Catarina	953	100	78	31	163	824	175	1,162
<b>TOTAL AMM</b>	<b>18,464</b>	<b>2,251</b>	<b>846</b>	<b>422</b>	<b>2,180</b>	<b>13,755</b>	<b>6,048</b>	<b>21,983</b>
<b>% (AMM)</b>	84.1	10.2	3.8	1.9				
<b>TOTAL Nuevo León</b>	<b>21,769</b>	<b>2,446</b>	<b>913</b>	<b>446</b>	<b>2,338</b>	<b>16,521</b>	<b>6,715</b>	<b>25,574</b>
<b>%NL</b>	85.1	9.6	3.6	1.7				
AMM/N.L. (%)	84.8	92	92.7	94.6				

Fuente: SIEM [41]

De todas las empresas del estado se puede ver que un 86% está ubicado en el AMM. La mayoría de las empresas en el AMM (Tabla 2.4) son clasificadas como microempresas (85.1%) y más de 92% de las pequeñas, medianas y grandes empresas del estado se encuentran en el AMM. Debe mencionarse que las grandes industrias (1,9% del total) emplean unos 60% de los empleados en el sector industrial cuando las microempresas (84.1% del total) solo emplean un poco más de 10%.

**Industrias siderúrgicas y metalúrgicas:**

Son fuertemente contaminantes [45]. Esta contaminación es debida principalmente a los metales pesados, fenoles, hidrocarburos y grandes cantidades de partículas.

**Industrias químicas:**

Las empresas químicas que se encuentran en el AMM se dividen en cuatro categorías de acuerdo a sus productos y contaminantes:

- \*químicos inorgánicos básicos;
- \*químicos orgánicos básicos;
- \*resinas, fibras, adhesivos, pinturas, barnices, etc.;
- \*jabones, detergentes y productos similares.

Los contaminantes químicos del agua pueden clasificarse en contaminantes comunes (nitratos y nitritos, fósforo...), contaminantes especiales (Aceites y grasas, detergentes, sulfuros, ácido sulfúrico, sulfato de cobre, sulfato de amonio, cianuros, fluoruros, fenoles, pesticidas, hidrocarburos...) y metales pesados (mercurio, cadmio, níquel, cromo, etc y en sobredosis Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Mo, Ni, Co, Cu y Zn,...). [47]

#### **Industrias del cemento:**

Estas industrias generan dióxido de carbono, sílice, arcilla, caliza y numerosas partículas.

#### **Industrias de la celulosa y papel:**

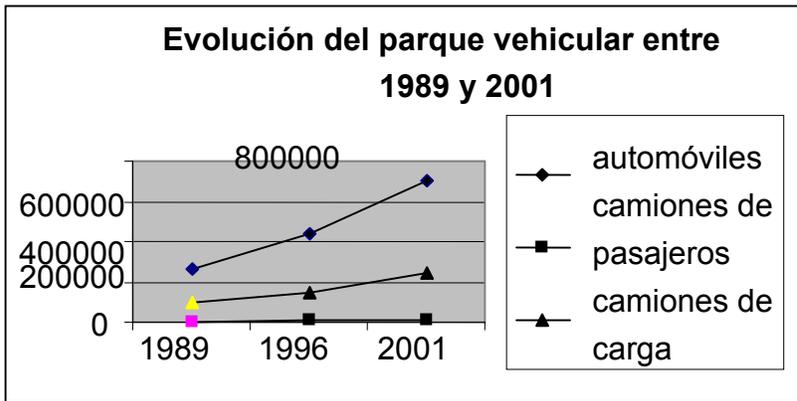
La mayor parte de la industria papelera en el AMM produce papel y cartón con fibras recicladas. La contaminación generada es esencialmente orgánica.

#### **Industrias del vidrio:**

Estas industrias tienen una gran importancia en el AMM ya que producen 90% de todo el consumo del país y también exporta parte de su producción. [35] La producción de vidrio genera principalmente fluoruros, sílice, arcilla, caliza y numerosas partículas.

#### **Lavado de autos:**

El parque vehicular en el AMM se ha incrementado muy rápido. Varios factores han intensificado esta aumentación del uso de los medios de transportes tales como el crecimiento económico y demográfico del país y en particular del AMM. Este incremento, se puede ver en la Gráfica 2.3. Al mismo tiempo que el parque vehicular ha crecido, el número de empresas de lavado de autos ha crecido también (y estas consumen y contaminan al agua). Sin embargo, su desempeño es menor comparado con otros factores.



Fuente: INEGI[18]

**Gráfica 2.3: Aumento de vehículos en el área metropolitana de Monterrey entre  
1989 y 2001**

Aunque no es parte de los objetivos de este trabajo, resultaría interesante estudiar que tan importante es el impacto del aumento del parque vehicular y de las empresas de lavado de auto en el consumo total de agua.

### **2.3 El agua en el AMM:**

En esta parte, se presenta la situación de la gestión actual del agua en el AMM a través de la descripción de las regiones hidrológicas, del sistema de abastecimiento, de los consumos de agua, de las tarifas de agua, de la calidad del agua potable, de las pérdidas de agua en la red, del drenaje sanitario y del aprovechamiento de las aguas pluviales.

#### **2.3.1 Regiones hidrológicas**

A la gran demanda de agua se añade la degradación de los ecosistemas que disminuye la capacidad de captación de agua del suelo y la recarga de los acuíferos (que se consideran actualmente sobre-explotados ([37])). El agua que abastece la población del AMM proviene de fuentes subterráneas (40%) y de fuentes superficiales (60%) [40].

Del total de las aguas superficiales se extrae el 83% lo cual es preocupante para la sustentabilidad del recurso porque es muy alto. En la región presentada en Apéndice 5, existen 71 acuíferos en explotación (21 sobre-explotados), cuya recarga media anual se estima en 5 082 hm<sup>3</sup> y su extracción anual se eleva a 4,145 hm<sup>3</sup> para toda la región del Río Bravo.

En la región de abastecimiento del AMM, los acuíferos se encuentran sobre-explotados (Apéndice 5).



Fuente: IMTA[17]

**Figura 2.1: Sistema superficial de la región Río Bravo**

La Figura 2.1 muestra esquemáticamente que el abastecimiento del AMM es la cuenca del Río Bravo/Río San Juan.

Los distritos riego son entidades que dirigen y administran la entrega de agua. Cada distrito tiene la responsabilidad de velar por el mantenimiento y buen funcionamiento de los sistemas de riego.

### **2.3.2 Abastecimiento**

En Nuevo León, por su ubicación geográfica y sus características climatológicas, el abasto del agua representa un problema muy importante.

Existen tres presas para el abastecimiento de la ciudad: P. Rodrigo Gómez (La Boca), P. José López Portillo (Cerro Prieto) y El Cuchillo (Tabla 2.5).

**Tabla 2.5: Presas para abastecimiento del AMM**

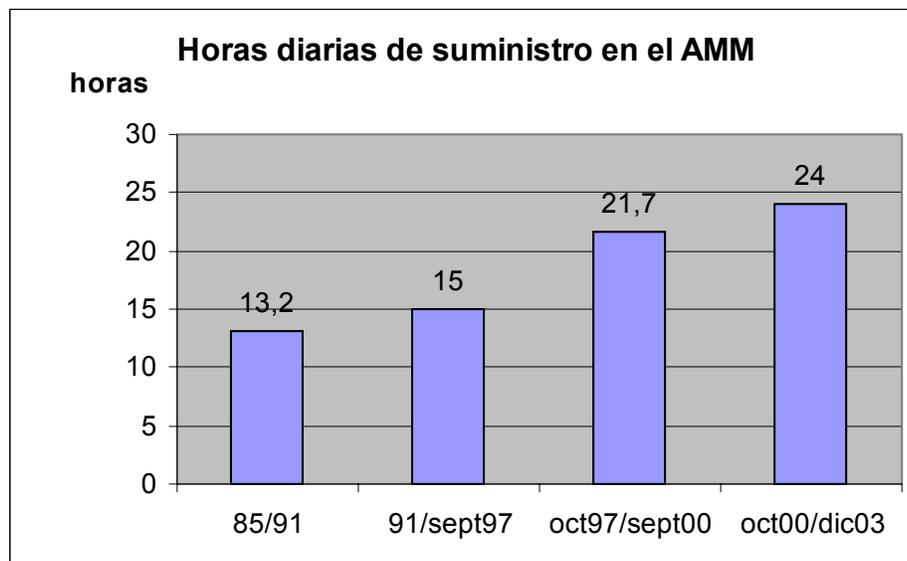
Nombre	Ubicación	Municipio donde se localiza	Capacidad de Almacenamiento	% de llenado en 2003
P. El Cuchillo	R. Bravo-San Juan	China	1,800 millones m <sup>3</sup>	155.4
P. José López Portillo (Cerro Prieto)	R. San Fernando	Linares	393 millones m <sup>3</sup>	115.7
P. Rodrigo Gómez (La Boca)	R. Bravo-San Juan	Santiago	45 millones m <sup>3</sup>	90.2

Fuente: INEGI [18], SADM [40]

Además del abasto de agua proveniente de presas, existen 11,413 pozos de aguas en Nuevo León. Éstos están distribuidos entre 4,796 pozos de uso agropecuario, y el resto para uso público urbano (5,701), de servicios (394), industrial (514) y de generación de energía eléctrica (8). ([22]) En el Apéndice 6, se presenta el abasto promedio por fuente.

Para adaptarse al cambio y permitir el abasto, se han realizado importantes modificaciones. La capacidad de almacenamiento en presas pasó de 40 millones de metros cúbicos en 1980 a más de 2 mil millones en 1996 y la capacidad de abasto pasó de 6,500 lps a 9,800 lps. La Tabla 2.5 muestra que las presas para abastecimiento del AMM están sobrecargadas.

La Gráfica 2.4 muestra que desde octubre del 2000, se logró mantener el suministro las 24 horas del día.

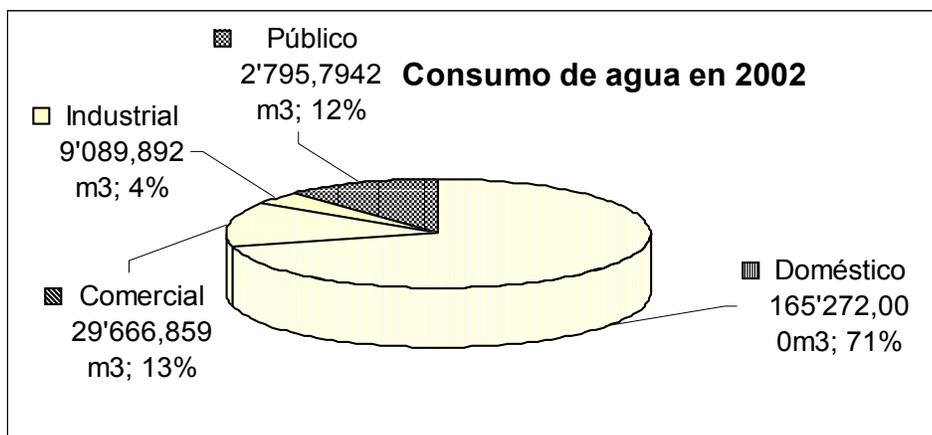


Fuente: SADM[40]

**Gráfica 2.4: Horas diarias de suministro en el AMM**

### 2.3.3 Consumos de agua

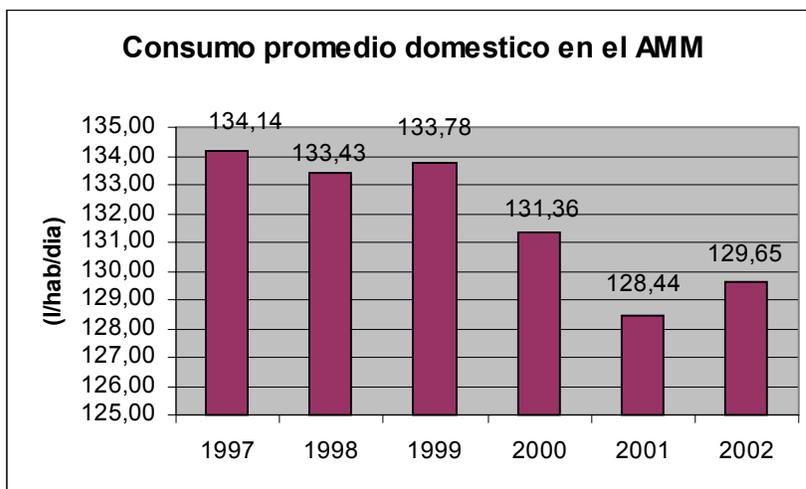
El consumo de agua (proporcionado por los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey) en el área metropolitana de Monterrey se reparte como se puede ver en la Gráfica 2.5 (esto no incluye los pozos)



Fuente: Servicios de agua y drenaje de Monterrey[40]

**Gráfica 2.5: Consumo de agua en Monterrey (sin incluir los derechos concedidos por la CNA) en 2002**

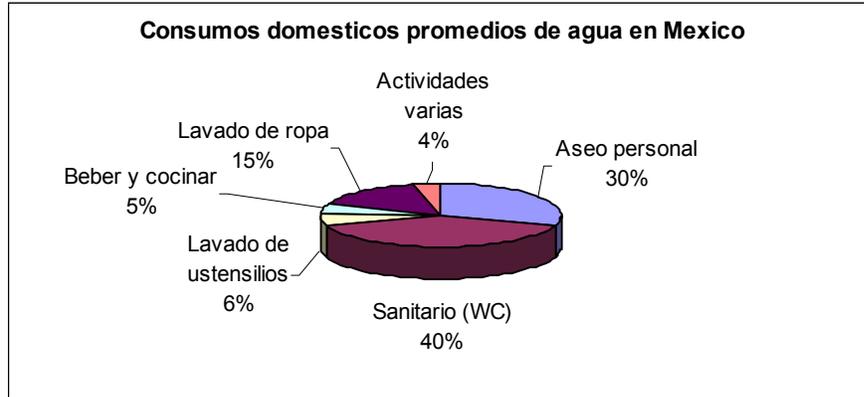
El consumo de los pozos concedidos por la CNA a industrias o particulares no está tomado en cuenta (porque los datos no eran accesible), solo se incluyen los pozos de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey. El consumo principal de agua es para uso doméstico.



Fuente: SADM[40]

**Gráfica 2.6: Consumo promedio per cápita doméstico en el AMM de 1997 a 2002**

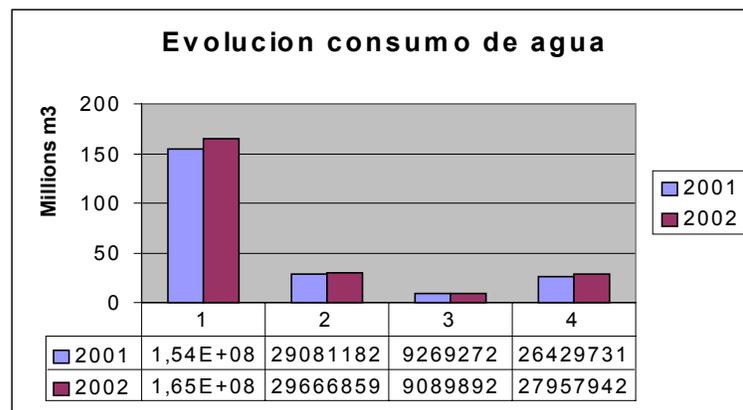
La Gráfica 2.6 muestra que existe un decremento casi constante en los consumos domésticos promedios mensuales por habitante desde 1997. El consumo doméstico se divide en varios tipos de actividades cuyas dos principales son aseo personal y sanitarios como se puede ver en la Gráfica 2.7 (no se cuenta con estudio específico para el AMM así que se tomo en cuenta un estudio para México):



Fuente: INEGI, 1999[18]

**Gráfica 2.7: Consumos domésticos de agua en México en 2002**

La evolución del consumo total de agua entre el año 2001 y el año 2002 es representada en la Gráfica 2.8 y muestra una tendencia en aumento. A pesar de que no muestra más años, el aumento se ha mantenido debido al aumento de la población.



Fuente: Servicios de agua y drenaje de Monterrey[40]

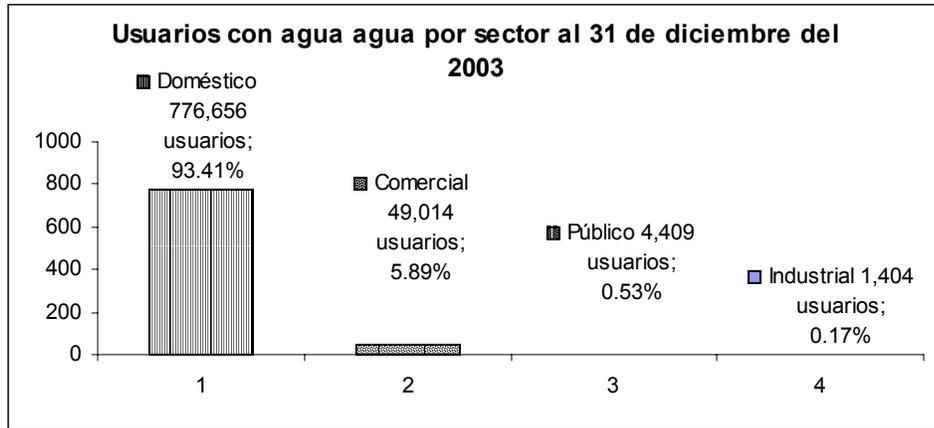
1. Doméstico 2. Comercial 3. Industrial 4. Público

**Gráfica 2.8: Evolución del consumo de agua en Monterrey entre 2001 y 2002**

El suministro de agua se incrementó debido a la incorporación de nuevos usuarios. En el AMM, 94% de las familias tiene agua entubada dentro de la vivienda (contra 83% en todo el estado), aunque en municipios como General Escobedo y Apodaca, un 13% y un 20%, respectivamente, no cuentan con agua entubada de ningún tipo. En el AMM un 91% dispone de drenaje. [22]

En el caso del uso industrial se aprecia, en la Gráfica 2.8, un decremento en el consumo de aguas de la red de distribución debido tal vez a la sustitución de algunas empresas por agua tratada.

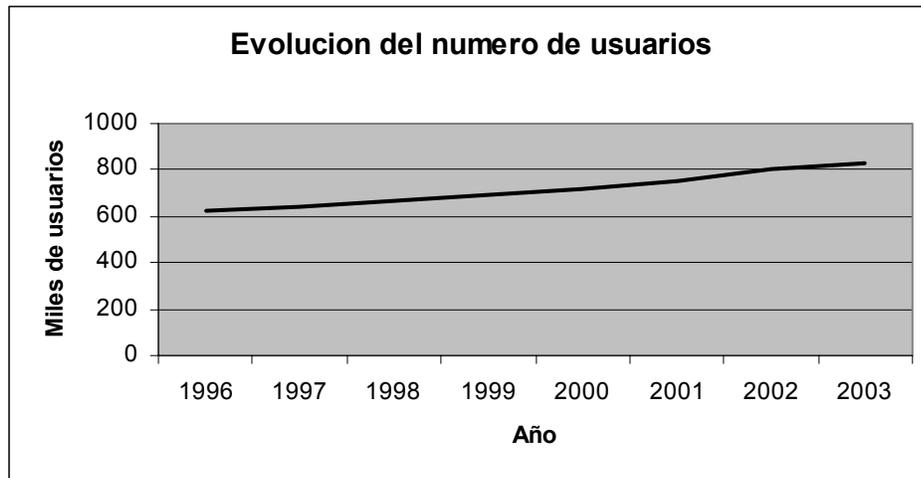
El desglose de usuarios según el sector es el siguiente (incluyendo los usuarios de pozos) se muestra en la Gráfica 2.9.



Fuente: Servicios de agua y drenaje de Monterrey[40]

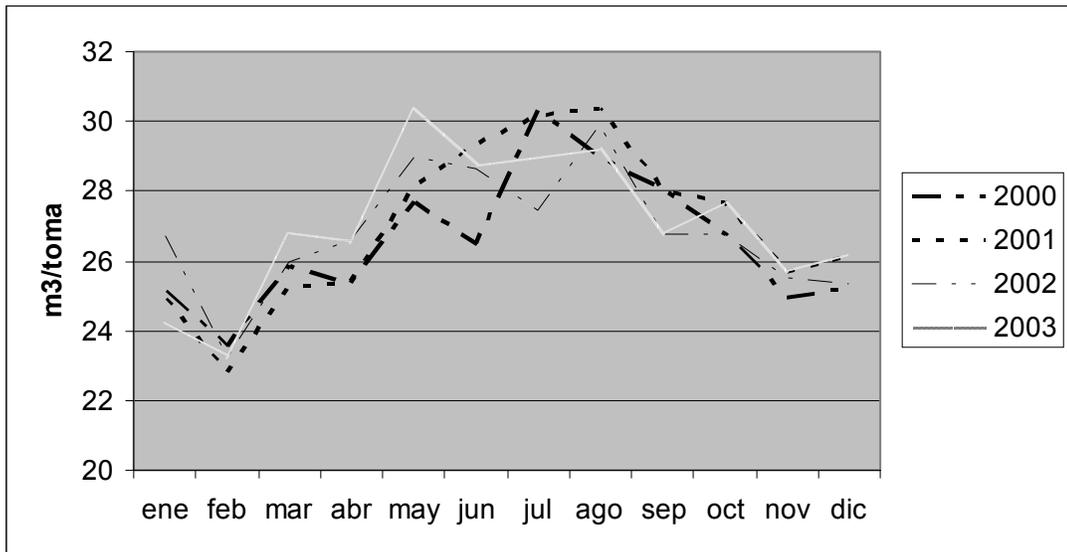
**Gráfica 2.9: Porcentaje de usuarios con agua**

La Gráfica 2.10, muestra el incremento continuo del número de usuarios entre 1996 y 2003. El estudio del incremento por sector entre 2001 y 2002 muestra un incremento del número de usuarios domésticos principalmente.



Fuente: Servicios de agua y drenaje de Monterrey[40]

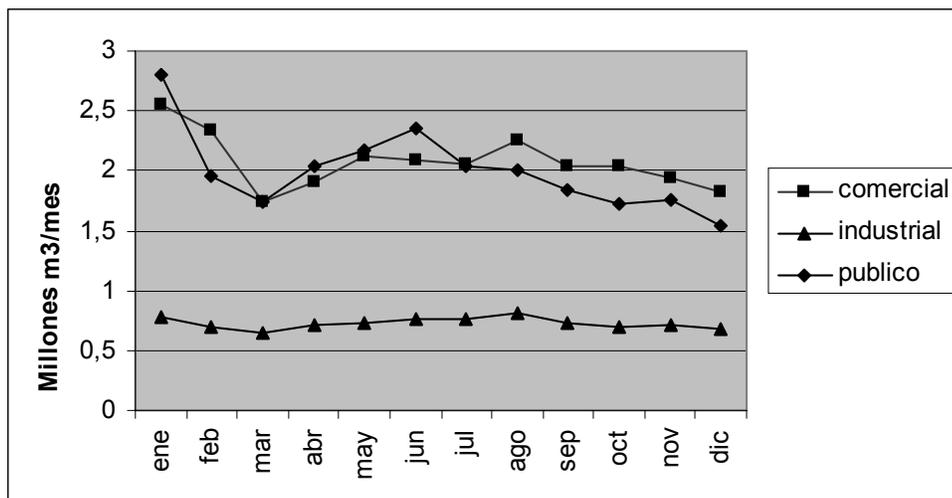
**Gráfica 2.10: Evolución del número de usuarios entre 1996 y 2003**



Fuente: Servicios de agua y drenaje de Monterrey[40]

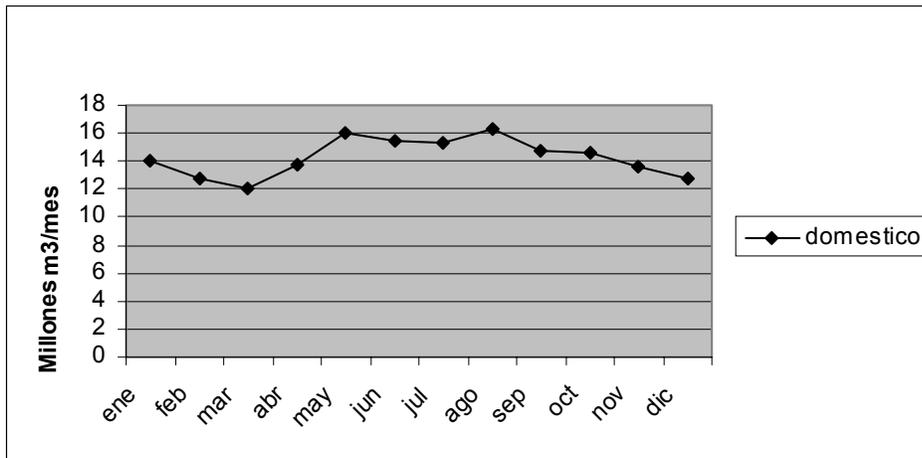
**Gráfica 2.11: Evolución de los consumos mensuales de agua entre 2000 y 2003**

La Gráfica 2.11 muestra que los consumos de agua aumentan de forma considerable en verano (periodo mayo-agosto). En las Gráficas 2.12 y 2.13, se ve que cualquiera que sea el uso, hay un incremento del consumo en verano (lo que se debe probablemente a que es un periodo más caluroso, a una mayor evaporación, entre otros). Sin embargo, este aumento es menos importante en el caso del agua industrial.



Fuente: Servicios de agua y drenaje de Monterrey[40]

**Gráfica 2.12: Evolución de los consumos mensuales de agua diferentes del doméstico por sector en 2003**

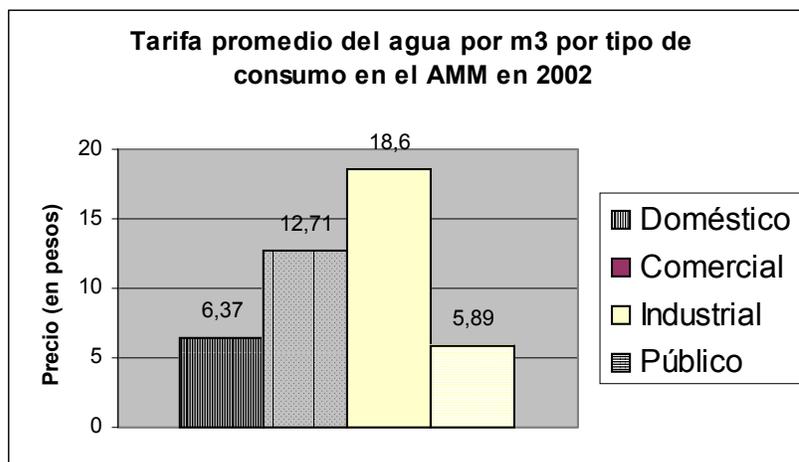


Fuente: Servicios de agua y drenaje de Monterrey[40]

**Gráfica 2.13: Evolución de los consumos mensuales domésticos de agua sector doméstico en 2003**

### 2.3.4 Tarifas del agua

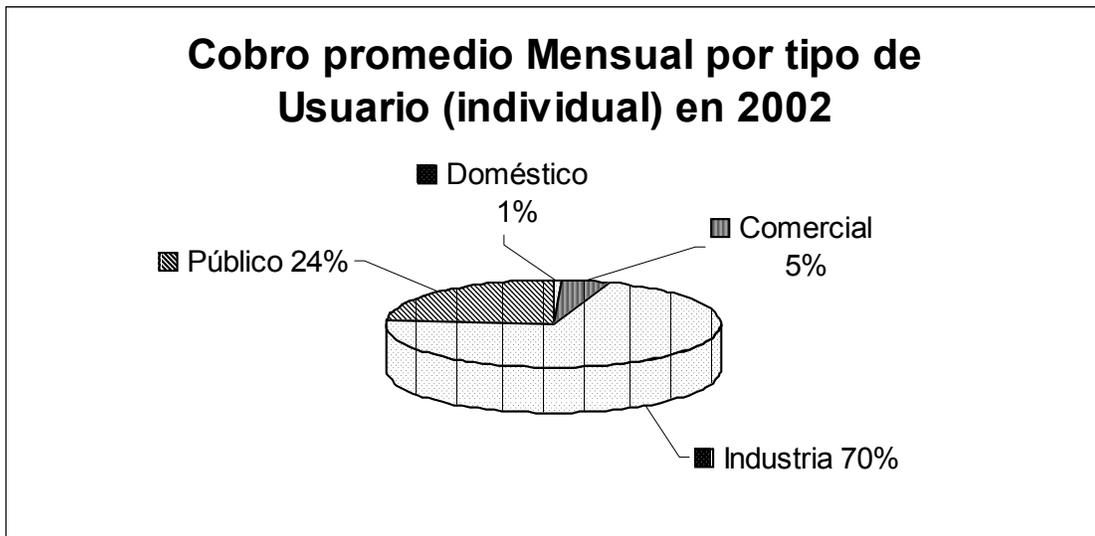
El problema que se destaca es que los mayores consumidores (uso doméstico) pagan el precio más bajo. Además, el precio promedio del agua para un uso doméstico para un m<sup>3</sup> en 2002 era de 6.37 pesos lo que se ve muy barato en comparación con el precio para uso industrial (18\$/m<sup>3</sup> en 2002). Esta diferencia de precio es la razón por la que los industriales tienen facturas mensuales más altas (Gráfica 2.14). Sin embargo, la mayor fuente de ingresos sigue siendo el usuario domestico (Gráfica 2.15). Como la industria paga el triple de los usuarios domésticos, parece que esta asumiendo parte del costo que deberían de asumir los usuarios domésticos (esto permite que el agua sea más accesible).



Fuente: Servicios de agua y drenaje de Monterrey[40]

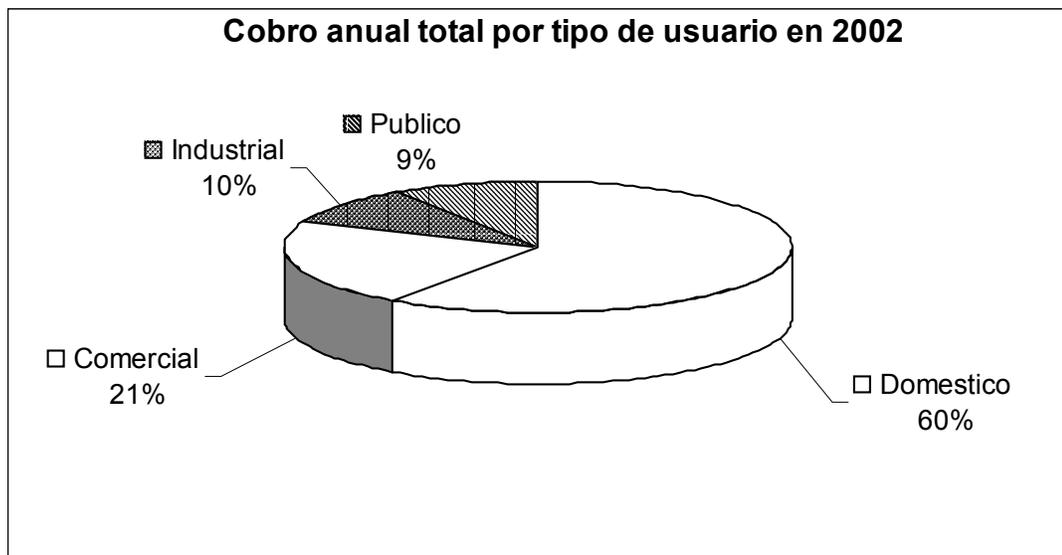
1. Doméstico (6.36\$/m<sup>3</sup>) 2. Comercial (12.71\$/ m<sup>3</sup>) 3. Industrial (18.60\$/m<sup>3</sup>) 4. Público (5.89\$/ m<sup>3</sup>)

**Gráfica 2.14: Tarifa promedio anual por m<sup>3</sup> en 2002**



Fuente: Servicios de agua y drenaje de Monterrey[40]

**Gráfica 2.15: Cobro promedio (del cobro total) mensual por tipo de usuario y por usuario**



Fuente: Servicios de agua y drenaje de Monterrey[40]

**Gráfica 2.16: Cobro anual total por tipo de usuario**

### 2.3.5 Calidad del agua potable

La calidad del agua potable en el AMM se presenta en la Tabla siguiente (2.6)

**Tabla 2.6: Calidad del agua potable en la red domiciliaria del AMM**

PARÁMETRO	UNIDADES	NOM 127 SSA/97 (LMP)	MTY
<b>PARÁMETROS DE CAMPO</b>			
Cloro residual libre	mg/l	0.2 – 1.50	1.2
<b>FISICO-QUIMICOS</b>			
Potencial hidrógeno	pH	6.5 – 8.5	8.49
Conductividad eléctrica	□ohms/cm	-	527
Color	Escala Pt-Co	20	<5
Turbiedad	U.N.	5	<0.4
Sólidos disueltos totales	mg/l	1000	280
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	-	179
Dureza total	mg/l	500.00	270
Cloruros (como Cl)	mg/l	250.00	11.9
Fluoruros (como F)	mg/l	1.5	0.12
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> )	mg/l	400.00	109
Nitritos (NO <sub>2</sub> como N)	mg/l	0.05	<0.007
Nitratos (NO <sub>3</sub> como N)	mg/l	10.00	0.20
Nitrógeno amoniacal (como N)	mg/l	0.50	<0.2
SAAM detergentes	mg/l	0.5	<0.2
Cianuros (como Cn)	mg/l	0.07	<0.03
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>			
Coliformes totales	NMP/100ml	<2.2	<2.2
Coliformes fecales	NMP/100ml	-	ND
<b>METALES PESADOS</b>			
Aluminio	mg/l	0.20	0.08
Arsénico	mg/l	0.05	<0.03
Bario	mg/l	0.7	0.04
Cadmio	mg/l	0.005	<0.002
Cobre	mg/l	2.00	<0.05
Cromo total	mg/l	0.05	<0.01
Fierro	mg/l	0.30	<0.05
Manganeso	mg/l	0.15	<0.02
Mercurio	mg/l	0.001	<0.001
Níquel	mg/l		<0.05
Plomo	mg/l	0.025	<0.01
Sodio	mg/l	200.00	8.1
Zinc	mg/l	5.00	<0.05
Selenio	mg/l		<0.01
Molibdeno	mg/l		<0.05
<b>ORGANICOS</b>			
Fenoles y compuestos fenolitos	mg/l	0.001	<0.001
Plaguicidas	□g/l		<LMP
Ácido 2,4-D	□g/l	50	<25
Trihalometanos totales	mg/l	0.20	0.030
Hidrocarburos totales del petróleo	mg/l		<0.08

PARÁMETRO	UNIDADES	NOM 127 SSA/97 (LMP)	MTY
LMP :límite máximo permisible		NO : No detectados	

Fuente: SADM[40]

Los principales parámetros que hay que ver son:

- ✓ Coliformes totales y fecales ya que se relacionan con la presencia de enfermedades gastrointestinales severas y peligrosas;
- ✓ Turbidez y Sólidos Totales ya que pueden provocar enfermedades;
- ✓ Nitratos y fosfatos ya que en concentraciones importantes provocan la eutricación de las aguas y la disminución del oxígeno disuelto;
- ✓ Arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomo ya que son bioacumulables y pueden causar graves problemas en la salud humana.

La Tabla 2.6 muestra que los parámetros medidos por agua y drenaje de Monterrey están dentro de la norma NOM-127-SSA-1997.

Entonces el agua que se distribuye al usuario se puede considerar potable. Sin embargo, su almacenamiento en cisternas u otro tipo de recipiente no se aconseja ya que las condiciones sanitarias no son adecuadas. Se ve en la Tabla 2.7, que el número de casos de enfermedades relacionadas con el agua no es muy elevado en comparación con la población total de Nuevo León (3,834,141 habitantes en Nuevo León).

**Tabla 2.7: Principales enfermedades relacionadas con el agua en Nuevo León (Casos presentados durante el año 2001)**

	Amibiasis intestinal	Ascariasis	Fiebre tifoidea	Hepatitis vírica tipo "A"	Shigelosis	Total de casos
<b>Casos N.L</b>	6923	634	387	189	80	8213
<b>Casos N.L/1000 hab</b>	1.76	0.16	0.10	0.05	0.02	2.09
<b>Casos México</b>	543140	204592	3287	8161	24306	783486
<b>Casos México/1000 hab</b>	5.54	2.09	0.03	0.08	0.25	7.99

Fuente: Secretaría de Salud, Anuario Estadístico del 2001 [36]

### 2.3.6 Pérdidas de agua

También se destaca el problema del agua potabilizada no facturada que representa 25% ([40]) ya que se pierde por dos causas: tomas clandestinas y por fugas de la red. Esto tiene consecuencias importantes por los desperdicios de agua. Por esto,

SADM ha adoptado un nuevo programa para reducir el agua no contabilizada. Este lleva un avance del 65.1% con 1,193 circuitos instalados de un total de 536,766 (74.7%) tomas probadas de las 718,649 consideradas, dentro de los trabajos se cambiaron 466,836 medidores y se reubicaron 121,674 medidores a limite de propiedad. El programa costó 300 millones de pesos y resultó en un ahorro de 10% de reducción en fugas (aproximadamente un ahorro de medio millón de pesos por día) [22], [40]

### 2.3.7 Drenaje sanitario

En materia de saneamiento desde 1997 el 100% de las aguas residuales que genera el AMM está siendo tratado y aproximadamente  $1\text{m}^3/\text{s}$  de las aguas tratadas se reutiliza. [31] (referirse a los Apéndices 7 y 8)

**Tabla 2.8: Plantas de tratamiento del agua residual**

Planta de tratamiento	Municipio	Capacidad ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Actual ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Caudal contratado ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Caudal de consumo ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
Dulces Nombres	Pesquería	5	4.4	0.47	0.283
Norte	Escobedo	2.5	1.9	0.083	0.008
Noreste	Apodaca	0.8	0.9	0.105	0
García	García	0.05	0.034	0.0565	0.0072
Privadas	N.A.	2.52	1.48	0.364	0.151

Fuente: SADM[40]

Como se puede observar actualmente (Apéndice 7), el único parámetro tomado en cuenta en la determinación de las descargas contaminantes es la DBO5. Sin embargo, se deberían de tomar en cuenta otros como DQO, metales pesados, coliformes, sales totales,... Actualmente, se está elaborando en los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, un reglamento interno para incorporar mas parámetros y así permitir una mejor evaluación del costo de las descargas contaminantes y el precio optimo. También se destaca en la Tabla 2.8 que aparte de la planta Noreste, las demás están operando por debajo de su capacidad y que los caudales de consumo son inferiores a los caudales contratados.

Se distinguen diferentes tipos de aguas residuales y de descargas, por las cuales se aplican también diferentes tarifas (referirse al Apéndice 7): aguas negras crudas, aguas tratadas, descargas al drenaje, descargas contaminantes, aguas de sanitarios portátiles, aguas de fosas sépticas, aguas con grasas orgánicas y agua no potable.

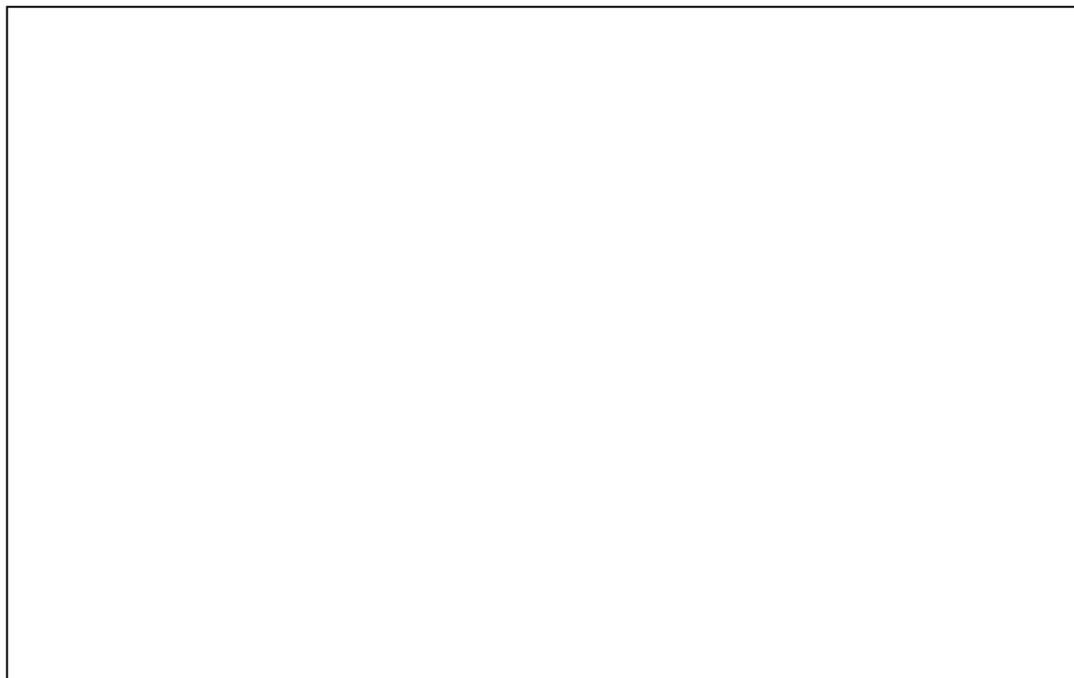
Las tarifas para descargas al drenaje, uso o aprovechamiento de aguas residuales y para agua no potable están en constante aumento (aunque ligero, por ejemplo se trata aproximadamente de un 2%/año para las aguas tratadas y las descargas contaminantes). También, se ve que el precio del agua tratada disminuye cuando aumenta el consumo (para favorecer el consumo de agua tratada).

### **2.3.8 Aprovechamiento de las aguas pluviales**

El AMM se encuentra en una zona semi-árida. Las zonas semi-áridas se caracteriza por tener una mala distribución de la precipitación, períodos escasos de lluvias y una temperatura media anual mayor de 18°C, con bajas temperaturas en invierno y muy calurosas en verano.

El promedio anual de lluvia que se precipita en el AMM es de alrededor de 550mm. Al captar y almacenar toda esta agua sin ninguna pérdida, la cantidad sería suficiente para abastecer toda la población ([31]). Desafortunadamente, la variabilidad de la lluvia anualmente y estacionalmente debe tomarse en cuenta. En efecto, el 68% de las lluvias caen únicamente en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

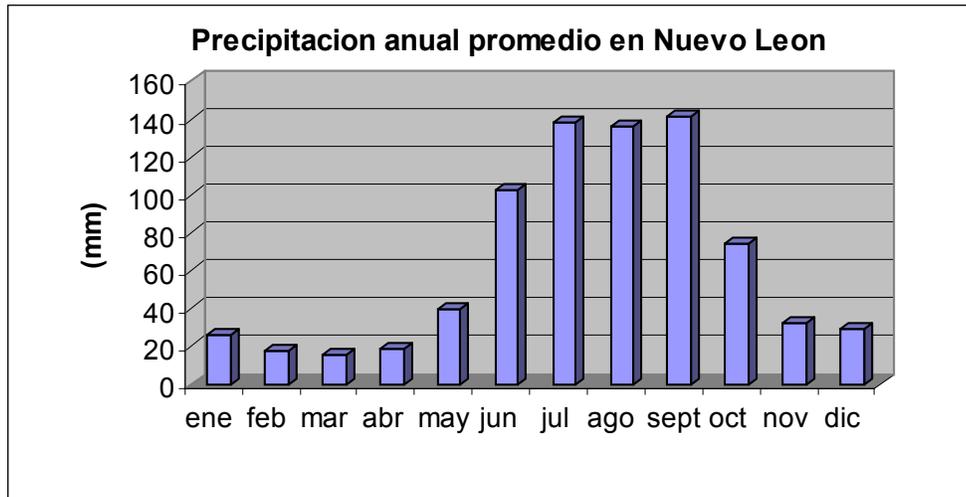
La Gráfica 2.17 presenta la historia promedio anual de la evaporación y la precipitación anual promedio en el AMM de 1960 a 1993. Se puede observar que el promedio de evaporación es de aproximadamente 2200 mm por año y el promedio de precipitación de 550 mm.



Fuente: SADM[40]

**Gráfica 2.17: Precipitación y evaporación anual promedio en el AMM**

La Gráfica 2.18 muestra la precipitación anual promedio para un año lluvioso (llovió 700mm aproximadamente en el 2003) y también se observa la estacionalidad que es característica en todos los años.



Fuente: SADM[40]

**Gráfica 2.18: Precipitación anual promedio en el AMM en el 2003**



Una constatación en el AMM es que más del 40% del total promedio anual de lluvia puede caer en un día (casi en una sola hora) de septiembre. Durante años de sequía (precipitaciones menores a 550 mm), 87% de las lluvias del año pueden concentrarse en una sola hora. Esto significa que el agua no está disponible igualmente a lo largo del año por lo que es necesario captarla y guardarla. En el AMM, se presenta un problema para la conservación del agua debido al clima caliente que provoca una fuerte evaporación en las obras hidráulicas de almacenamiento superficial. [31]

En ciertas partes del AMM, existe un drenaje separado para el agua de lluvia pero nada que permita su aprovechamiento. El implemento de tales estructuras podría mejorar la cantidad de agua disponible y podría ser una opción para un manejo más sustentable del agua (habría que estudiar el lado económico).

### 3. MEDIDAS DE SUSTENTABILIDAD

En este capítulo se enuncian primero medidas generales que permiten una gestión más sustentable del agua por medio de reducción en el consumo de agua. En una segunda parte, se presenta el nivel de implementación de estas medidas en el AMM, es decir si están bien implementadas o no o si no están implementadas.

#### ***3.1. Generalidades sobre las estrategias de sustentabilidad en el uso del agua:***

Es importante cuidar la naturaleza, no sobre-explotar los acuíferos, tomar en cuenta la recarga del acuífero y la extracción de agua a fin de mantener una recarga suficiente para no agotar el recurso, no canalizar los ríos, evitar la deforestación y prevenir los incendios ya que la vegetación es necesaria para la retención del agua por el suelo.

A nivel mundial, el uso agrícola es el más importante así que en un estudio de sustentabilidad, está debe tomarse en cuenta (ya que tiene un impacto importante tanto en el consumo como en la contaminación del agua). Además, existe una competencia entre los usos agrícolas y urbanos y las medidas de sustentabilidad no son las mismas en ambos casos. Esta investigación se restringió al uso doméstico y por lo tanto no se va a tomar en cuenta el uso agrícola. Por la misma razón no se estudiaron las estrategias para las industrias. En este capítulo se van a presentar unos elementos que permiten un uso más sustentable del agua en el caso de la gestión doméstica del agua.

En el ambiente urbano, el mantenimiento, la reparación de las redes de alcantarillado (y de drenaje) y la detección de las tomas ilegales es un punto muy importante debido a que aproximadamente un tercio del gasto de agua se pierde en la red por fugas o tomas clandestinas. Es importante también obtener una reducción del consumo doméstico de agua tanto como la de los contaminantes resultantes (detergentes, lejías, insecticidas, tóxicos, entre otros). También es necesario asegurarse del buen funcionamiento de las depuradoras existentes para mejorar su eficiencia (mejor diseño, mejor gestión, buena adecuación al tipo de agua a tratar) y disminuir los gastos económicos.

Una gestión sustentable del agua debe considerar la reutilización del agua lo que permitirá disminuir la contaminación y el uso del recurso natural, además de disminuir los costos para los usuarios. En el caso del uso industrial, se podría pensar en un circuito de agua entre varias industrias que permitirá a unas de utilizar el agua procedente de las otras (que necesitan una menor calidad o que reusan lo que contiene el agua). En el caso de los usos domésticos y públicos o privados, se incluye la reutilización de las aguas por ejemplo con agua tratada para riego de los jardines, campos de golf u otros espacios, sistemas de recirculación para fuentes de ornato, entre otros.

**Tabla 3.1: Técnicas de uso doméstico eficiente del agua en México**

<b>Medidas para reducción en el consumo de agua</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Reducción en el consumo</b>
Dispositivos ahorradores	Baratos Ahorros rápidos	Requiere la cooperación del usuario	Al menos 10% del consumo residencial
Educación	Puede cambiar malos hábitos Resultados a lo largo plazo Promueve la participación voluntaria	Requiere un esfuerzo bien planeado y coordinado	5%
Reglamentación	Gran potencial de ahorro Reduce aguas residuales	Posible resistencia de constructores	Sobre un 10% del uso residencial
<b>Restricciones al uso residencial</b>	Efectivo en los exteriores de la casa, especialmente en sequías	Requiere la cooperación del usuario Difícil de establecer	10 a 20% del uso residencial
<b>Reuso y jardines eficientes</b>	Ahorros significativos Bajo mantenimiento de las plantas nativas	Baja aceptación de usuarios Preferencia de los usuarios por determinadas plantas Puede no haber disponibilidad de plantas nativas	25% del uso residencial
<b>Medición</b>	Fácil de implantar Mayor potencial de ahorros	Altos costos de capital Requiere cambios en la estructura tarifaria	25% en áreas que no tienen medición
Reparación de fugas	Reduce el agua no contabilizada	Los costos pueden sobrepasar los del agua ahorrada	9% aproximadamente
Tarifas	Pueden inducir fuertemente al ahorro	Objeción de los usuarios Requiere de estructuras bien diseñadas para ser efectivas	10%

Fuente:[19]

Se puede ver en la Tabla 3.1 que existen diferentes áreas de oportunidad con ahorros consecuentes a nivel urbano. Sin embargo, una de las desventajas comunes al que se enfrenta la implementación de estas medidas es que necesitan la colaboración y la aceptación del usuario. Esto es un problema importante y por esto es necesario desarrollar una buena campaña de cultura del agua a fin de sensibilizar a la gente de la importancia de usar el agua de manera eficiente y de facilitar su aceptación de las medidas de sustentabilidad. En la Tabla 3.1 se presentan las medidas que permiten una reducción de consumo doméstico de agua.

### **3.2 Aplicación al AMM:**

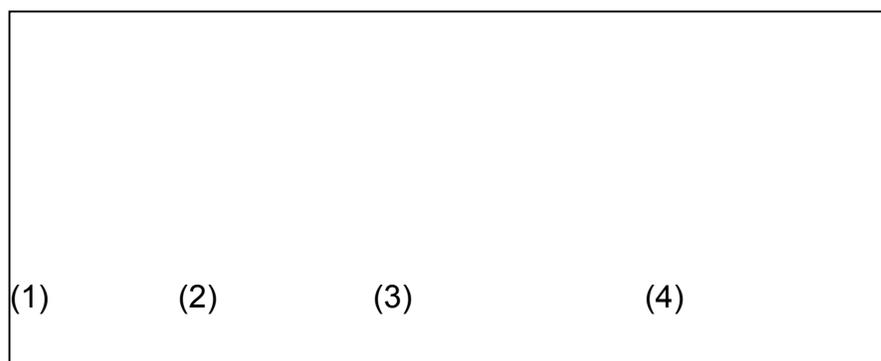
En esta parte se estudian en detalle las medidas presentadas en la Tabla 3.1.

#### **3.2.1 Introducción de equipos ahorradores de agua**

Los equipos ahorradores de agua permiten el ahorro de agua y previenen la contaminación. Existe un gran número de equipos ahorradores de agua (algunos de ellos se va a presentar a continuación).

¿Que tipo de equipos ahorradores se puede usar? (Figura 3.1)

- ✓ Aireadores (1);
- ✓ Regaderas de bajo caudal (2);
- ✓ Válvulas de llenado de inodoros eficientes (3);
- ✓ Válvulas de descarga eficientes (4);
- ✓ Etc.



Fuente: [19]

**Figura 3.1: Equipos ahorradores de agua**

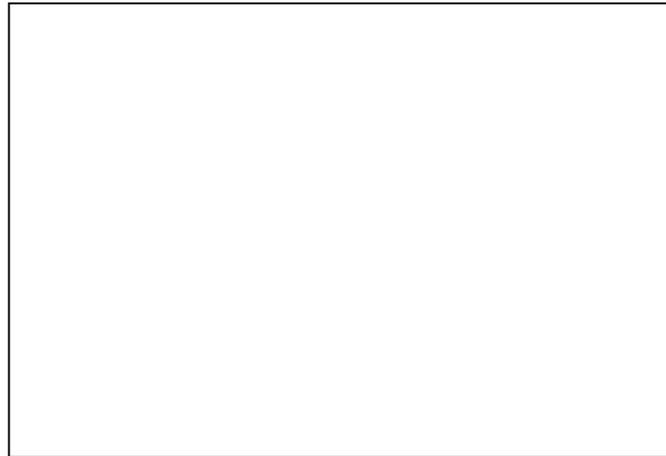
Una experiencia realizada en Veracruz dio los resultados presentados en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2: Ahorros resultantes de diferentes equipos ahorradores de agua**

Tipo de equipo	% promedio de ahorro
Aireadores	43%
Regaderas de bajo caudal	41%

Fuente:[19]

La Gráfica 3.1 muestra una reducción del 20% de los gastos promedios de agua después de la instalación de válvulas reductoras de presión, lo que es considerablemente importante.



Fuente:SADM[40]

**Gráfica 3.1: Gasto promedio antes y después de la instalación de válvulas reductoras de presión en San Nicolás de los Garza**

A través del programa de cultura del agua se regala una bolsa al usuario que tiene un reductor para regadera para reducir el consumo de agua y una bolsa ahorradora de agua para el sanitario así como otros productos para detectar las fugas. Esto permite introducir de manera directa, en el hogar, equipos ahorradores de agua.

Es importante sensibilizar a la gente sobre el uso de equipos ahorradores de agua. Tienen que entender las ventajas de usarlos. En efecto, mucha gente compra los equipos más baratos, que van a presentar fugas más rápidamente y que consuman mucha agua. No saben que comprar un poco más caro por un buen equipo les permitiría ahorrar dinero a largo plazo. Esto hace parte de la campaña de cultura del agua de SADM que se va a presentar a continuación. Sin embargo, un apoyo mayor del gobierno en tal campaña sería mejor. Es importante también que exista un servicio de apoyo en la instalación de estos equipos.

### 3.2.2 Sensibilización de los consumidores

Es importante sensibilizar a la población sobre su responsabilidad en el cuidado y buen uso del agua y esto se hace principalmente gracias a campañas continuas y a largo plazo de cultura del agua. Para la efectividad de estas campañas, se analizan las diferentes tendencias del pensamiento y la actuación urbana a fin de conocer los puntos clave que hay que tratar así como la manera de introducirles.

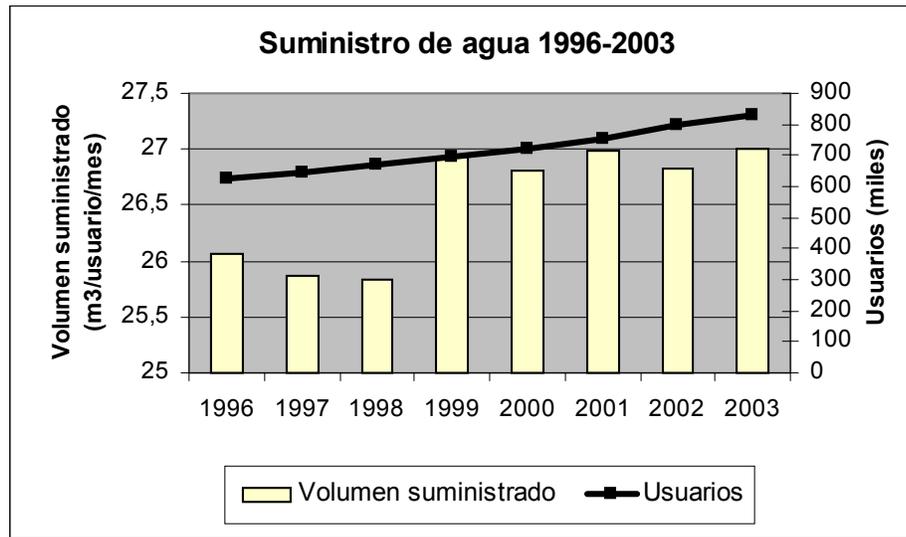
En el AMM, a través del SADM, nace el “Programa de Cultura del Agua” en 1986. Se tomaron diferentes acciones para sensibilizar a la gente:

- ✓ Campañas escolares;
- ✓ Pláticas institucionales;
- ✓ Campaña anual de verano;
- ✓ Imagen y difusión;
- ✓ Regalo de una bolsa con equipos ahorradores (referirse al párrafo anterior);
- ✓ Distribución de kit de detección y reparación de fugas (se ve con más detalle en el 3.2.4).

En el Apéndice 2, se presentan más en detalle estas acciones implementadas en el AMM en el contexto del “Programa de Cultura del Agua”.

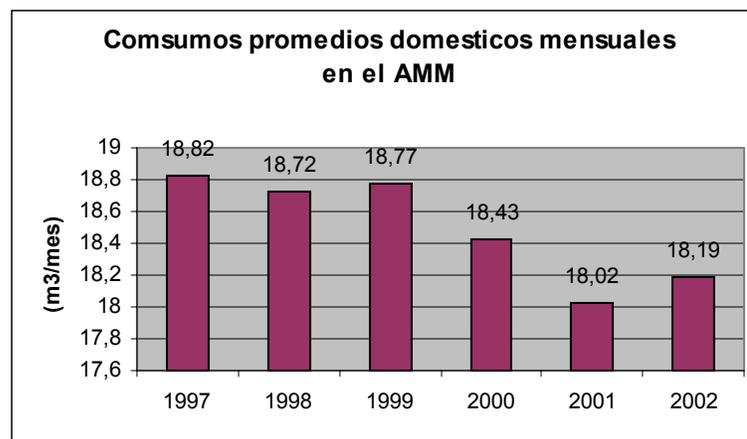
Se constató (Gráfica 3.3) una reducción del consumo promedio mensual del usuario doméstico a  $18.2 \text{ m}^3$  (pasó de  $18.80 \text{ m}^3$  ( $136.2 \text{ l/cáp/día}$  aproximadamente) en 1997 a  $18.2 \text{ m}^3$  ( $131.9 \text{ l/cáp/día}$  aproximadamente) en el 2002). El consumo promedio diario per cápita para uso doméstico de 130 litros es relativamente bajo a nivel mundial (y también uno de los más bajos del país).

Esta reducción podría ser atribuible al programa de concientización en conjunto con los demás programas del SADM. En la Gráfica 3.2, se constata un aumento consecuente del número de usuarios manteniendo la cantidad de agua potable suministrada constante.



Fuente: SADM [40],[5]

**Gráfica 3.2: Suministro de agua potable vs Número de usuarios en el AMM**



Fuente: SADM[40]

**Gráfica 3.3: Consumos promedios domésticos mensuales en el AMM de 1997 a 2002**

### 3.2.3 Depuración y reutilización de las aguas residuales

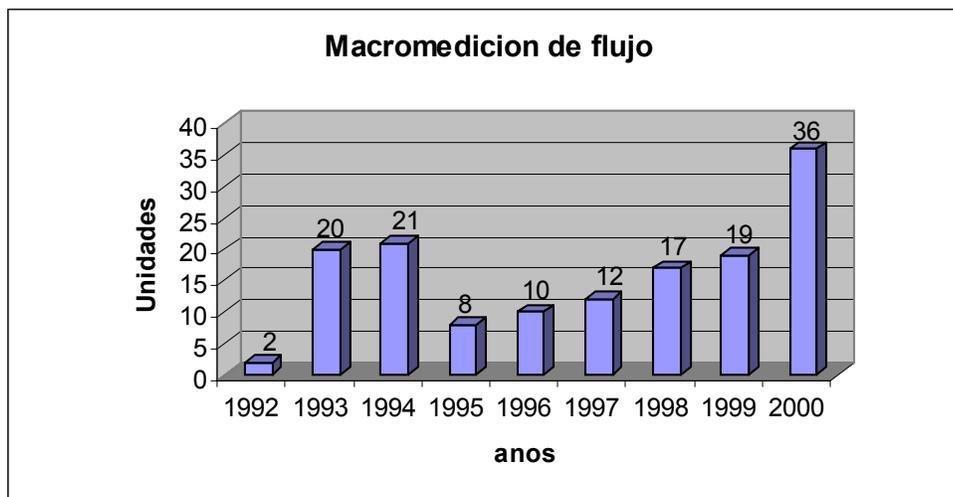
Para permitir el reciclaje del agua residual se necesita que sean previamente tratadas. En materia de saneamiento desde 1997 el 100% de las aguas residuales que genera el AMM está siendo tratado.

El 100% de las aguas residuales se trata. En el 2003, esto representó una cantidad de 58,070.425 m<sup>3</sup>. La cantidad de agua residual concedida para uso industrial fue de aproximadamente 441 lps en enero y febrero 2004. El agua tratada que se reusa en riego o se vende como agua industrial fue de 440 lps aproximadamente en enero y febrero 2004. [40] Se podría aumentar aún más la cantidad de agua (residual o tratada) reusada. Sin embargo es importante señalar que el reuso tiene un límite debido

a las pérdidas de la red y la evaporación (en efecto no se puede reusar más del 75% del agua actualmente ya que se tiene un 25% de pérdidas en la red [21]).

### 3.2.4 Mantenimiento de la red de distribución y evacuación, Medición y reducción de fugas

La medición es muy importante ya que lo que no se mide, no se conoce y por consecuente no se puede controlar. La medición del agua sirve para cuantificar los caudales captados, conducidos y distribuidos y cuantificar el consumo de agua de cada usuario. Esto es fundamental para la planeación, el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y la administración de los sistemas operadores de agua potable y saneamiento. En el periodo 1998-2000, se añadieron 72 nuevo medidores a los 73 antiguos para conocer la demanda del AMM.



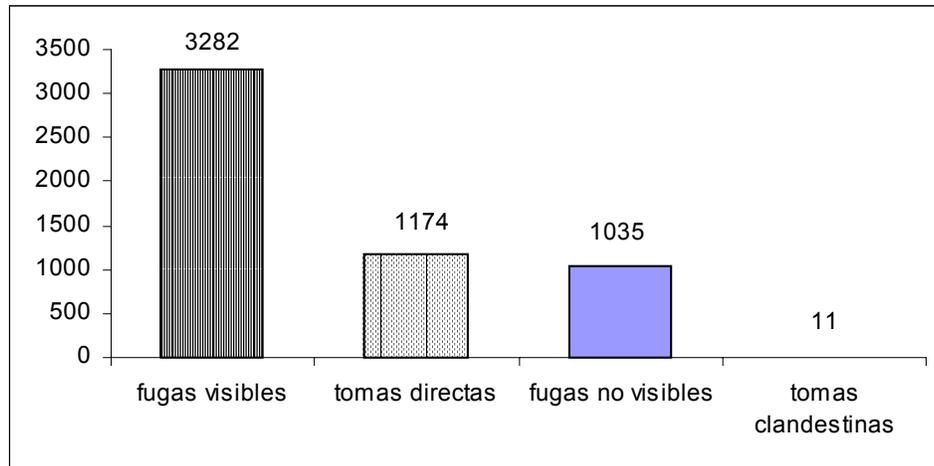
Fuente: SADM[40]

**Gráfica 3.4: Macromedición de flujo entre 1992 y 2000**

En el AMM, existen programas de sectorización de las redes de distribución y medición (Gráfica 3.4). Hasta ahora, como se va a ver más adelante, demostraron su eficiencia. Estos programas permitieron aumentar la eficiencia, tener un suministro las 24 horas del día, ampliar la cobertura con suministro similar y tener un ingreso mayor gracias a un número más alto de usuarios y a la recuperación del agua no contabilizada.

Los costos involucrados en estos programas son importantes. Sin embargo, los beneficios son mayores ya que permiten un uso más eficiente del agua y además una mayor facturación. (Para dar una idea, el programa de medición y reducción de fugas costó 300 millones de pesos y resultó en un ahorro de 10% de reducción en fugas (aproximadamente un ahorro de medio millón de pesos por día)).

Una vez al año, se checan todos los sectores: se recorren 4,846km (aproximadamente 120km diario en 251 días hábiles). Se detectaron en 2003, 4,317 fugas (3,282 visibles), 11 tomas clandestinas y 1,174 tomas directas. Para tener una idea de la distribución se pueden ver en la Gráfica 3.5.



Fuente: SADM[40]

**Gráfica 3.5: Distribución del agua no contabilizada**

De 1998 a 2002, los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey redujeron el volumen de agua no contabilizada de 37% a 25% (es decir un ahorro aproximadamente de 1200 lps). Además, se recuperaron 489 lps gracias a la sectorización de las redes de distribución y medición. Esto representa un 5% de ahorro de agua. Es imposible físicamente tener una red totalmente hermética, aunque se considera que un 15% de pérdidas representa un nivel aceptable. Con respecto al volumen de fugas que se presenta en la red de distribución, se elaboró el proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-013-CNA-2001 “Redes de distribución de agua potable – Especificaciones de hermeticidad y métodos de prueba”.

Además de los programas de medición, detección y reparación de fugas, se implementa un programa que capacita al usuario para que detecte internamente sus fugas. Esto evita que tenga una facturación muy alta con desperdicio de agua (le conviene también al SADM ya que en general después del deposito de la queja del cliente le hace un descuento). De esta manera, todos salen ganadores, el usuario porque ya no tiene facturación más alta por fugas, el SADM porque mejora su desempeño social y ambiental y el medio ambiente ya que se desperdicia menos agua.

A cada nuevo usuario, al instalar el servicio, se les da un kit de reparación de fugas constituido por:

- ✓ Pastillas para detectar fugas en el sanitario;
- ✓ Reductor para regadera;
- ✓ Rondanitas de plástico;
- ✓ Bolsa ahorradora de agua (se llena de agua y se pone en el tanque para reducir el volumen de llenado);
- ✓ Guía: *Ahorrar agua es práctico y sencillo* donde se explican los beneficios de utilizar los elementos previamente descritos así como cómo utilizarlos.

### **3.2.5 Reglamentación y restricciones al uso doméstico**

#### **3.2.5.1 Reglamentación**

En México y en el AMM, el marco legal importante y se constituye de leyes, reglamentos, normas y acuerdos para gestionar el agua (referirse al Apéndice 3, 9).

#### **3.2.5.2 Restricciones al uso doméstico**

Existe un plan de contingencia ante condiciones temporales de sequía. Según el nivel de sequía observado se implementan medidas que van desde la restricción hasta la prohibición de ciertas prácticas (como el riego de jardín, lavado de autos, agua para restaurantes, llenado de albercas, entre otros). Sin embargo, el problema es que este plan se implementa ya cuando se ve que el nivel de agua que se tiene no va a ser suficiente para el consumo en condiciones normales. Sin embargo, de manera general (a lo largo del año), no se tiene un plan que permita reducir o prohibir los consumos en los periodos en los que llueve menos y hace calor.

Unas medidas que se podrían implementar son:

- ✓ La imposición de restricciones al riego de céspedes y de jardines de ornato;
- ✓ La creación de un jardín de demostración de ahorro de agua;
- ✓ La publicación de un manual de paisajes xerófilos (vegetación nativa);
- ✓ El uso de agua no potable para jardinería;
- ✓ La imposición de restricciones obligatorias durante las épocas de escasez de agua;

- ✓ Llevar a cabo programas de educación para el ahorro de agua, dirigidos al público y a los niños de las escuelas, especialmente durante las épocas de escasez de agua;
- ✓ Medir todas las entregas de agua y sustituir oportunamente los contadores viejos o defectuosos.

En cuanto a los usos exteriores, en el riego de jardines se deben aplicar prácticas adecuadas como la hora más apropiada que se recomienda entre las 4 y 8 de la mañana, debido a que durante esas horas la presión en la red es más alta, la dispersión provocada por el viento es baja y las pérdidas por evaporación son despreciables. En el caso de que este horario resulte incómodo se recomienda regar de las 8 a las 12 de la noche.

Por otra parte las plantas que consumen más eficientemente el agua en una región son las nativas. La combinación de éstas con rocas y grava pueden dar una apariencia atractiva y consumir muy poca agua. Una tendencia reciente es el uso de xerófitas (cactus, nopales, etc.) como plantas de ornato.

El lavado de automóviles por medio de la manguera provoca un gran desperdicio de agua; se recomienda hacerlo con una cubeta y una jerga. Se podría prohibir el lavado de autos con mangueras en los meses más secos del año.

### **3.2.6 Tarifas**

Esta parte se tratará en el capítulo siguiente.

### **3.2.7 Otras medidas de sustentabilidad**

Estas medidas no se presentaron en la Tabla 3.1 pero pareció interesante mencionarlas.

#### **3.2.7.1 Reducción de contaminantes**

El único parámetro tomado en cuenta en la determinación de las descargas contaminantes es la DBO5. Esto no incentiva la reducción de contaminantes en las aguas y el precio pagado entonces no refleja el costo real que costara el tratamiento de esta agua.

Sin embargo, otros deberían de tomarse en cuenta como DQO, metales pesados, coliformes, sales totales,... Actualmente, se está elaborando un reglamento interno en agua y drenaje para incorporar mas parámetros y así permitir una mejor evaluación del costo de las descargas contaminantes y el precio optimo. Esto es

importante ya que se han detectado problemas de contaminación debido a las descargas de aguas residuales de tipo doméstico e industrial, en específico en los cauces de los ríos Pesquería y San Juan (zona del Área Metropolitana de Monterrey). [7]

### **3.2.7.2 Impulso a la investigación y la innovación tecnológica**

En el AMM, sería conveniente que existan programas para impulsar la investigación y la innovación tecnológica tanto para el ahorro de agua mediante sistemas ahorradores o tuberías más eficientes por ejemplo como para el tratamiento de las aguas residuales, favoreciendo las técnicas más limpias como las técnicas biológicas.

### **3.2.7.3 Separación de las aguas pluviales y residuales**

El AMM no tiene estructura para recolectar las aguas pluviales. Cuando llueve, parte del agua pluvial se introduce al drenaje de agua residual y en periodo de lluvia muy fuerte pueden ocurrir derrames lo que causa problemas importantes.

Se debería estudiar la posibilidad de implementar un sistema de recolección de las aguas pluviales en las conducciones del AMM para evitar el colapso de las depuradoras y la contaminación resultante. Las aguas pluviales se pueden colectar en zonas húmedas artificiales construidas en las inmediaciones del área metropolitana.

Sin embargo, el costo de instalación y de mantenimiento de tal sistema sería importante así que habría que estudiar la validez desde un punto de vista costo-beneficio (incluyendo en los beneficios la valoración del recurso natural agua).

## 4. PARÁMETROS ECONÓMICOS DE SUSTENTABILIDAD

Uno de los parámetros más importantes que hay que manejar para llegar a un uso sustentable del agua y lograr objetivos ambientales, sociales y económicos, es el parámetro económico. En este capítulo se presenta primero una introducción de lo que implica la sustentabilidad económica del agua y luego cómo se aplica al AMM (pérdidas económicas, precio justo, primas, etc.) y finalmente se presentan las conclusiones sobre la sustentabilidad económica del agua en el AMM.

### 4.1. Introducción

El precio del agua está muy por debajo de su valor real. Sin embargo, es difícil evaluar el precio real del agua ya que toma en cuenta un número impresionante de parámetros y que debe respetar unos criterios como se va a ver más adelante.

En muchos casos el precio se lleva a cubrir solamente el costo de transportar el agua al usuario.

La Comisión Nacional del Agua anunció que en México el 60 por ciento del agua para uso agrícola y un 35 - 53 por ciento del agua para uso municipal se desperdicia. El precio del agua es un medio para permitir la conservación del recurso. Se debe de pagar el verdadero costo (más caro) del agua o lo más real posible. Se necesita evaluar todo el ciclo de vida del agua desde su extracción hasta su regreso a las fuentes (Figura 1.3).

Se distinguen 3 tipos de eficiencia: [1]

- Eficiencia concedida (“Allocative Efficiency”):

Mide la conformidad entre la distribución de las entradas y las preferencias de la sociedad.

- Eficiencia técnica (o X-ineficiencia)

Es la eficiencia con la que las entradas son usadas en el proceso de producción y es relacionada con la productividad del proceso de transformación.

- Eficiencia dinámica:

Mide el interés de las empresas en relación con las innovaciones económicas.

Para establecer el precio del agua no es algo sencillo ya que muchos parámetros deben de tomarse en cuenta como factores económicos, renta por persona, costos de mantenimiento de la red, tasas en las extracciones de agua.

Un buen precio del agua debe:

- ✓ Permitir a la empresa proveedora del agua **no tener pérdidas económica**. Se toman principalmente en cuenta la cantidad de agua extraída, transportada y tratada (las tarifas del agua deben de tomar estos parámetros económicos en cuenta) y el capital fijo de los costos de las instalaciones (se necesitan grandes presupuestos tanto para instalar como para mantener la red de distribución y de evacuación del agua), pero de tal manera que las rentas no dependen demasiado de las variaciones de la demanda.
- ✓ **Ser Justo → Igualdad**. Cada persona debe poder tener acceso a una cantidad suficiente de agua para participar en la vida social ya que el agua es un elemento vital. Esto implica que el precio del agua no puede ser desproporcionado con los ingresos de las personas que la usan. También, para que las futuras generaciones tengan suficiente agua para asegurar su bienestar, el precio del agua debe tener cierto valor de manera que el impacto en los recursos naturales de agua sea mínimo.
- ✓ **Dar primas** para un uso eficiente del agua, para desarrollos de tecnologías de ahorro de agua. **Tomar en cuenta los costos externos** debidos por ejemplo a la contaminación, costos de operación de la infraestructura, etc. Una implicación de esto es que los habitantes de una región montañosa pagaran más que los de una región plana o que los habitantes de una región árida pagaran más que los de una región húmeda. **Incluir una valoración económica del recurso natural del agua** (incluyendo el valor de uso y de no uso del agua, los costos ambientales como son el costo ambiental, la valoración económica de los costes energéticos y los costos derivados de la mala calidad del agua entre otros).
- ✓ **Debe ser factible legislativamente y eficiente.**

## 4.2. Aplicación al AMM:

En esta parte se van a estudiar los aspectos del precio sustentable del agua en el caso particular del Área Metropolitana de Monterrey.

### 4.2.1. Ninguna pérdida económica para la empresa proveedora de agua

Se puede ver en las Tablas 4.4 y 4.5 que los ingresos son mayores a los egresos y por lo tanto que no hay pérdida económica para SADM.

### 4.2.2. Precio justo

Existen grandes disparidades entre las ganancias de las familias. Sin embargo, el precio del agua solo está relacionado con el consumo pero no tiene en cuenta el ingreso de los usuarios, por lo que el precio no es totalmente justo. No hay igualdad entre los “ricos” quienes pueden pagar el agua que consumen y los “pobres” quienes tienen problemas para tener acceso al agua potable. La Tabla 4.1, aunque dirigida no solo al AMM sino a toda el área fronteriza con Estados Unidos, da una idea del consumo promedio según el ingreso del hogar. Se nota una diferencia de aproximadamente 35 litros/habitante/día entre los “pobres” y los “ricos” (considerando 4.5 habitantes per habitación).

**Tabla 4.1: Distribución promedio de agua para el área fronteriza con Estados Unidos**

Nivel económico del hogar	Número de conexiones (Dec. 1999)	Volumen anual (m <sup>3</sup> )	Consumo promedio (m <sup>3</sup> /hogar/mes)
Muy bajo ingreso (Low income)	80,275	28,308,600	30.15
Bajo ingreso (Moderate income)	96,726	36,007,559	31.76
Medio ingreso (Middle income)	35,352	14,851,458	35.07
Alto ingreso (Upper middle income)	19,660	8,205,669	34.88
Total	232,013	87,373,286	32.97

Fuente:[12]

### 4.2.3. Primas/Tasas/Costos externos/Valoración económica del recurso natural agua

En el AMM, para promover el reuso del agua tratada, esta tiene un costo más bajo. Esto es un incentivo para consumir agua tratada pero también permite

disminuir el consumo de agua potable lo que es muy importante para tener una situación sustentable.

También, se aplica una tarifa diferente según el uso del agua ([40]). Las tarifas promedio son las siguientes:

Doméstico: 6.36\$/m<sup>3</sup>; Comercial: 12.71\$/ m<sup>3</sup>; Industrial: 18.60\$/m<sup>3</sup>; Público: 5.89\$/m<sup>3</sup>.

La tarifa para uso industrial es la más importante debido a que las industrias contaminan mucho. Esto es una manera de sensibilizarlas con la importancia de un uso sustentable del agua. Además, esto en conjunto con la primera medida (precio bajo de agua tratada) incentiva las empresas a considerar el uso del agua tratada o a reusar el agua de manera interna.

Otro punto muy importante es que en el AMM se aplica la política de “el que más consume más paga”. Entonces, el precio por m<sup>3</sup> del agua va aumentado al mismo tiempo que el consumo mensual de agua. Por ejemplo, un usuario doméstico que consuma 100 m<sup>3</sup> por mes pagara 838.37 pesos (es decir 8.38\$/m<sup>3</sup> de agua), el mismo usuario que consuma 200 m<sup>3</sup> por mes pagara 3367.05 pesos (es decir 16.83\$/m<sup>3</sup> de agua). Al doblar su consumo, el usuario ha doblado el precio que paga por m<sup>3</sup> de agua. Esta medida ya fue aplicada en otros lugares y demostró ser efectiva para reducir el consumo.

Además, como el AMM se encuentra en una región semi-árida, con periodos más secos que otros, se podría estudiar la posibilidad de aumentar el costo del agua en los meses más secos. En efecto, ahora no se toma en cuenta la variabilidad de la disponibilidad del agua. Sin embargo, en los periodos más secos, debería de incluirse esta variación en el precio a fin de incentivar un consumo sustentable.

En la Tabla 4.2, se puede comparar el precio pagado por un habitante del AMM, de la ciudad de México, de Estados Unidos y de Canadá.

**Tabla 4.2: Valor promedio de las boletas (pesos) por uso doméstico**

Consumo mensual m <sup>3</sup>	AMM sin drenaje	AMM con drenaje	Ciudad de México	Estados Unidos	Canadá
0	0	0	5	55.91	38.91
14	19.53	46.36	19	99.19	90.41
28	90.35	144.38	54	161.47	147.30

Fuente:[19]

(Datos para los Estados Unidos y Canadá corresponden a los promedios de 186 empresas de agua y fueron tomados del Water and Wastewater Rate Survey. Raftelis Financial Consulting, PA. Año 2000.)

El sistema de tarifas del AMM refleja más los costos reales del agua que el de la Ciudad de México. Sin embargo, menos que los de Estados Unidos o de Canadá. Como se dijo en el párrafo anterior, los precios deben ser justos también y los ingresos promedio de una familia no son iguales en México que en Estados Unidos y Canadá.

**Tabla 4.3: Evolución de las tarifas para descargas al drenaje, uso o aprovechamiento de aguas residuales y para agua no potable de diciembre 2003 a marzo 2004**

<b>Aguas tratadas</b>	<b>dic2003</b>	<b>ene2004</b>	<b>feb2004</b>	<b>marzo2004</b>	<b>% de</b>
<b>Consumo mensual (m<sup>3</sup>)</b>	<b>\$/m<sup>3</sup></b>	<b>\$/m<sup>3</sup></b>	<b>\$/m<sup>3</sup></b>	<b>\$/m<sup>3</sup></b>	<b>aumento</b>
1-130 000	5,31	5,33	5,34	5,36	0,93%
130 001- 259 200	4,98	5	5,01	5,03	0,99%
259 201 - 518 400	4,62	4,64	4,65	4,66	0,86%
518 401 - 777 600	4,26	4,27	4,28	4,3	0,93%
777 601 - mas	3,9	3,91	3,92	3,93	0,76%
<b>Descargas al drenaje</b>	2,11	2,11	2,12	2,13	0,94%
<b>Descargas contaminantes</b>	1,49	1,49	1,5	1,5	0,67%
<b>Descargas de aguas de sanitarios portátiles</b>	24,77	24,84	24,89	24,98	0,84%
<b>Descargas de aguas de fosas sépticas</b>	22,15	22,22	22,27	22,34	0,85%
<b>Descargas de aguas con grasa orgánica</b>	102,96	103,28	103,5	103,86	0,87%
<b>Agua no potable</b>	5,31	5,33	5,34	5,36	0,93%

Fuente: SADM[40]

La Tabla 4.3 permite darse cuenta de que las tarifas para descargas al drenaje, uso o aprovechamiento de aguas residuales y para agua no potable van en constante aumento (aunque ligero). También se nota que el precio del agua tratada disminuye cuando aumenta el consumo (para favorecer el consumo de agua tratada). El precio de las descargas al drenaje o de las descargas contaminantes no es muy elevado.

Es importante subrayar que en el AMM, la valoración económica del recurso natural agua no se incluye en la tarifa del agua. En efecto, no se toman en cuenta valores como por ejemplo el valor de existencia o los valores debido a los servicios ambientales resultantes. Sería interesante valor económicamente el recurso a través de un análisis costo-beneficio a fin de poder tener un precio del agua más cerca del precio real del agua.

#### 4.2.4. Factibilidad y eficiencia legislativa y administrativa

Primero, para hacer posible la eficiencia, por ejemplo, el uso del agua debe ser administrado. El precio puede ser variable y puede relacionarse con, por ejemplo, el número de personas en la casa o el tamaño de la casa.

El suministro de agua produce agua contaminada, debiéndose valorar también lo que cuesta la descontaminación de la misma y hacer pagar al consumidor, no al contribuyente, la depuración del agua que utiliza. El precio del agua tiene que incluir el costo total de su descontaminación, por lo tanto para las industrias será más rentable, modificar sus procesos industriales para que operen con circuito cerrado, es decir involucrar un consumo de cantidades muy pequeñas de agua, justo el consumo suficiente para el funcionamiento con circulación cerrada a fin de no descargar aguas residuales. Se necesitan la información sobre los ingresos y egresos a fin de ver si la primera condición se respeta o sea que Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey no tenga pérdidas económicas lo que fue el caso a principios de 2003 pero que no es el caso a principios de 2004.

**Tabla 4.4: Consolidado del 1 de enero al 31 de abril de 2003**

Concepto	Presupuesto	Real	Variación	
			Importe	%
<b>INGRESOS</b>				
Facturación Servicio de Agua	489,873	437,454	- 52,419	- 11%
Facturación Servicio de Drenaje	111,253	95,463	- 15,790	- 14%
Facturación Servicios de Saneamiento	48,342	42,185	- 6,157	- 13 %
Intereses Cobrados	25,212	54,757	+29,545	+ 117 %
Otros	76,858	77,320	+ 462	+ 1 %
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>751,538</b>	<b>707,179</b>	<b>-44,359</b>	<b>- 6 %</b>
<b>EGRESOS</b>				
Servicios Personales	205,769	207,179	+ 1,410	+ 1 %
Fondo de Pensiones y Jubilaciones	6,667	6,667	-	-
Materiales y Suministros	38,549	29,568	- 8,981	- 23 %
Mantenimiento	66,606	29,879	- 36,727	- 55 %
Energía Eléctrica	91,815	55,365	- 36,450	- 40 %
Gastos Diversos	20,470	13,329	- 7,141	- 35 %
Provisión para Cuentas Incobrables e Inv.	12,100	11,333	- 767	- 6 %
Derechos CNA	31,300	28,853	- 2,447	- 8 %
Intereses Pagados	16,976	13,653	- 3,323	- 20 %
Variación en el Valor de las UDI's	37,007	39,745	+ 2,738	+ 7 %
Depreciación y Amortización	215,575	225,898	+ 10,323	+ 5 %
Resultado Actualización y Repomo	7,083	3,050	- 4,033	- 57 %
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>749,917</b>	<b>664,519</b>	<b>- 85,398</b>	<b>- 11 %</b>
<b>RESULTADO NETO</b>	<b>1,621</b>	<b>42,660</b>	<b>41,039</b>	<b>+ 2532 %</b>

Cifras en miles de pesos

Fuente: SADM [40]

**Tabla 4.5: Consolidado del 1 de enero al 31 de marzo de 2004**

Concepto	Presupuesto 2004	Real	Variación	
			Importe	%
<b>INGRESOS</b>				
Facturación Servicio de Agua	367,964	387,485	19,521	5.0 %
Facturación Servicio de Drenaje	70,387	69,585	-802	- 1.0 %
Facturación Servicios de Saneamiento	34,378	32,232	-2,146	- 6.0 %
Intereses Cobrados	13,749	22,303	8,554	62.0 %
Otros	65,688	58,451	-7,237	-11.0 %
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>552,166</b>	<b>570,056</b>	<b>17,890</b>	<b>3.0 %</b>
<b>EGRESOS</b>				
Servicios Personales	196,680	204,307	7,627	4.0 %
Fondo de Pensiones y Jubilaciones	5,000	5,000	-	-
Materiales y Suministros	31,399	18,991	-12,408	-40.0 %
Mantenimiento	30,384	22,555	-7,829	-26.0 %
Energía Eléctrica	78,308	35,626	-42,682	-55.0 %
Gastos Diversos	15,212	14,614	-598	-4.0 %
Provisión para Cuentas Incobrables	10,075	10,067	-8	-0.0 %
Derechos CNA	25,910	23,097	-2,813	-11 %
Intereses Pagados	18,254	16,836	-1,418	-8.0 %
Variación en el Valor de las UDI's	27,289	37,362	10,073	37.0 %
Depreciación y Amortización	181,472	178,924	-2,548	-1.0 %
Resultado por Posición Monetaria	2,511	2,502	-9	-0.0 %
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>622,494</b>	<b>569,881</b>	<b>-52,613</b>	<b>-8.0 %</b>
<b>RESULTADO NETO</b>	<b>-70,328</b>	<b>175</b>	<b>70,503</b>	<b>-100.0 %</b>

Cifras en miles de pesos

Fuente: SADM [40]

Valoración económica:

Hay que valorar lo que realmente cuesta el abastecimiento de agua a las ciudades. Se debe conocer el balance entre las aguas utilizadas, los gastos ocasionados por el crecimiento de la misma y los efectos negativos para el medio ambiente que se derivan de las obras hidráulicas para el abastecimiento de esta agua.

No se puede cambiar el precio así de un día a otro porque la diferencia sería impresionante. Por esto se propone la medida siguiente. En un primer paso, se podría permitir que los usuarios actuales paguen un aumento incremental, facilitando así la transición a que se pague el precio completo. Y en un segundo paso mantener el precio real del agua.

Cantidad de agua:

Si proceden de las aguas superficiales de la cuenca hidrográfica (60% para el AMM), hay que hacer un cálculo de los recursos disponibles, de lo que su utilización y transporte supone para el medio ambiente y hacer un balance para determinar el consumo máximo de agua de dicha procedencia que la ciudad puede tener. Si proceden de las aguas subterráneas, la explotación de las mismas debe hacerse de acuerdo también con los cálculos de un balance (40% para el AMM), es decir con las garantías de que el acuífero se recargará de nuevo.

Políticas:

Si el agua no es suficiente (esto es el caso del AMM), o hay que limitar el crecimiento de la ciudad (no pueden existir megalópolis en áreas sin suficientes recursos hídricos), o controlar el consumo mediante el pago del agua a su precio real.

### **4.3 Conclusión**

El sistema de tarifas en el AMM es uno de los más apropiados de México. Sin embargo, aún no refleja el valor real del agua ya que no internaliza todas las externalidades (por ejemplo que no toma en cuenta el valor económico del agua como recurso natural). Como se ha visto, el cambio no se puede hacer de un día para otro porque habría quejas de los usuarios es la razón por la que se incrementa cada mes el precio del agua residual por ejemplo (ver Apéndice 7).

## 5. INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

En este capítulo, después de una introducción sobre la descripción de los diferentes tipos de indicadores existentes, se presenta el método DSPIR empleado en esta investigación para la selección de los indicadores. Además, se definen los diferentes niveles de sustentabilidad y los indicadores de sustentabilidad para sistemas hídricos. Finalmente se presentan los indicadores relevantes para la evaluación del nivel de sustentabilidad de la gestión del agua en el AMM.

### **5.1. Introducción**

Los indicadores permiten relacionar el concepto de desarrollo sostenible a valores numéricos, medidas descriptivas, signos y señales de tendencias. Combinan información social, económica y medioambiental (las 3 dimensiones del desarrollo sostenible) e ilustran las relaciones dentro y entre sistemas. El problema que surge es que la complejidad de los indicadores aumenta cuando se requiere de simplicidad. Además los indicadores deben ser relevantes, claros, “baratos” (el costo de la evaluación del indicador no debe ser alto), continuos (datos en el pasado y la región), fácilmente comprensible, deben poder aplicarse en otros sistemas a fin de permitir la comparación con diferentes regiones, países o servicios de agua. Un problema que surge es el de la recolección de datos significativos, confiables y consistentes para ilustrar el desempeño para alcanzar el objetivo deseado. Los indicadores simples no representan las variaciones importantes pero son herramientas poderosas para generar la toma de conciencia. Los indicadores son mejor utilizados combinados, ya que representará "la historia completa" del sistema.

### 5.1.1. Generalidades

Los indicadores de sustentabilidad se deben de seleccionar en cuanto a sus características. Un buen indicador debe de ser fácil de usar, indicar la sustentabilidad o ausencia de la misma, poder aplicarse de manera más general (no solo válido para el AMM por ejemplo), representar un (o más) aspecto(s) del sistema y se puede extrapolar, gracias a la presencia de datos suficientes, sus tendencias en el tiempo y el espacio. Estos indicadores sirven para medir y evaluar el camino hacia la sustentabilidad.

Existen diferentes modelos para desarrollar indicadores [44]:

**Enfoque ascendente** (Bottom-up approach): Se usa una distribución piramidal de los datos ambientales en la que se implementan los indicadores más importantes en la parte superior, los sistemas de indicadores en la parte media y los datos básicos en la parte inferior. Este método es demasiado reductor y no permite tener una buena idea porque reduce la variabilidad interna del sistema y pierde relaciones entre recursos y procesos.

**Enfoque descendente** (Top-down approach): Se empieza por definir la meta (basada en un indicador calculable). La acción se basa después en las acciones que hay que tomar para llegar a la meta. Los indicadores siempre comparan la meta a la actividad.

**Enfoque sistémico** (System approach): Este método analiza las entradas, procesos, y salidas antes de definir los indicadores. Las existencias describen el estado de un sistema en un tiempo particular (cantidad de biomasa en un bosque, población nacional, industrias, depósitos de bancos, agua de acuíferos, gases de invernadero en la atmósfera, etc.). Su tiempo de vida se puede considerar como indicador de cuanto tiempo necesitaría un sistema para corregir un problema, ajustarse a un cambio, o tomar ventaja de una nueva oportunidad. Aunque en el futuro podría ser un método interesante, aún no es claro y sigue siendo demasiado académico lo que aumenta la dificultad de desarrollar buenos indicadores.

**Enfoque causa-efecto** (Cause-effect approach): El más usado. Se basa en que “... las actividades humanas ejercen presiones sobre el medio y cambian la calidad y la cantidad de los recursos naturales (estado). La sociedad responde a esos cambios mediante políticas ambientales, sectoriales y económicas (OCDE, 1994)”. Un problema de este método es que puede fallar representando el sistema entero. Se derivan indicadores reflejando el éxito o no hacia la sustentabilidad.

Este modelo se compone del:

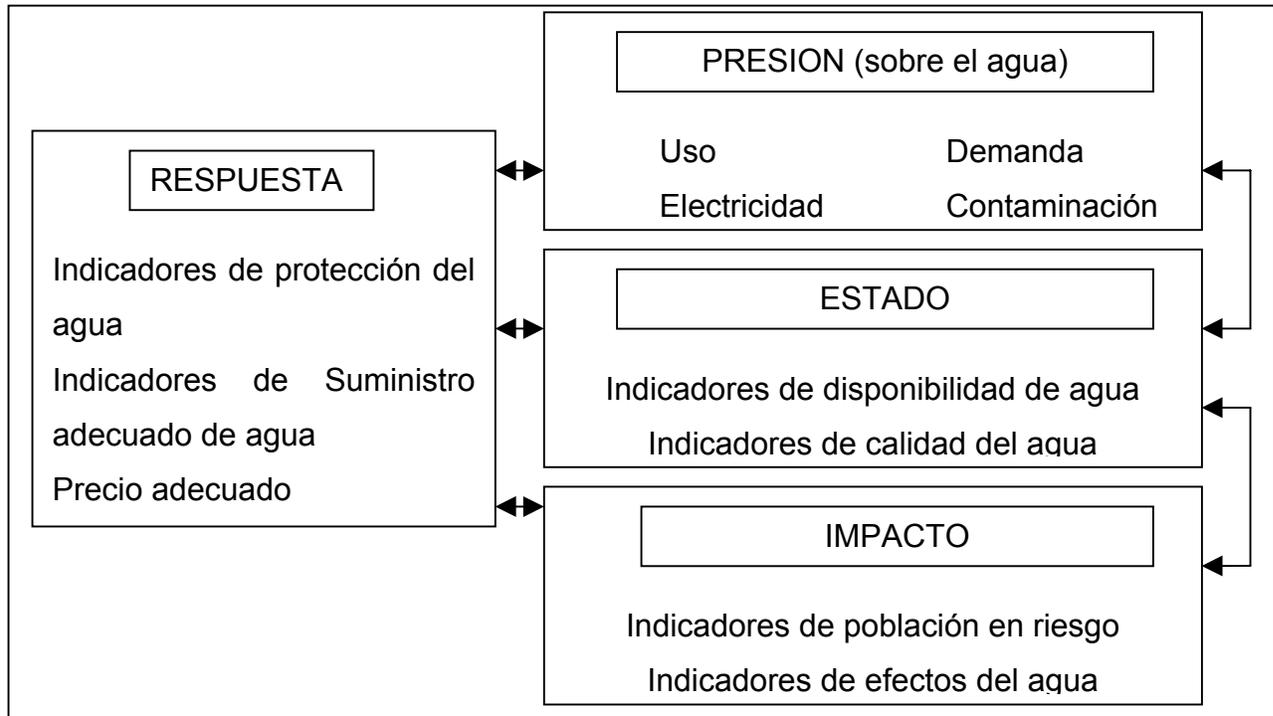
- PSR (*Pressure-State-Response*) Establece relaciones causales entre factores de presión, estrés y respuesta;
- DPSIR (*Driving forces-Pressure-State-Impact-Response*) el desarrollo económico y social ejerce presión sobre el medio ambiente lo que provoca cambios (condiciones de salud, disponibilidad de recursos, biodiversidad, etc.);
- DSR (*Driving forces-State-Response*);
- PSIR (*Pressure-State-Impact-Response*);
- DPSEEA (*Driving forces-Pressure-Exposure-Effects-Actions*) Este define fuerzas (D) que ejercen una presión sobre el medio ambiente (P) cambiando su estado (S) y llegando a la exposición de los seres humanos ( $E_1$ ) y por lo tanto a efectos en la salud ( $E_2$ ). Esto lleva a la necesidad de implementar acciones (A) en cualquier punto de la cadena para que no existan estos efectos adversos. Describe asociaciones entre el medioambiente y la salud y entonces no es el más apropiado en este caso.

Los métodos de DSR o DSPIR son bien aceptados. Sin embargo, se olvida la naturaleza sistemática y dinámica de los procesos y su inmersión en un gran sistema total que contiene muchos lazos de retroalimentación. La representación mediante cadenas DSR, no siempre es adecuada. Los impactos pueden ser diferentes según los casos (presión en uno y estado en otro por ejemplo). Además no se consideran múltiples presiones e impactos.

En el caso de esta investigación, se usó el método DSPIR (toma en cuenta más factores que el DSR) ya que es un método muy adecuado a nuestro caso. No solo es un método recomendado para estudios de sustentabilidad sino que además permite llegar a ciertas conclusiones en cuanto al sistema estudiado. A continuación, se verá con más detalles en qué consiste el DSPIR. [44], [32]

### 5.1.2. Método DSPIR

Para seleccionar los indicadores para este caso particular, se ha utilizado el método DSPIR (*Driving forces – Pressure – State – Impact – Response*; EEA,1999) cuya representación se puede ver en la Figura 5.1. [11], [44], [32]



Fuente: [11]

**Figura 5.1: El Modelo DPSIR**

Se distinguen 5 tipos de indicadores en este método (Figura 5.1):

- ✓ **Fuerzas:** Para los factores que tienen impacto en variables relevantes
- ✓ **Presión:** Para los factores que causan los problemas ambientales (Uso, demanda, contaminación, etc.)
- ✓ **Estado:** Para los factores que representan las condiciones ambientales actuales (Disponibilidad del agua, calidad del agua, etc.)
- ✓ **Impacto:** Para los factores que representan los efectos de cambios en el estado (Población en riesgo, efectos del agua, etc.)
- ✓ **Respuesta:** Representa lo que se hizo para solucionar los problemas (Protección del agua, Suministro adecuado de agua, Precio adecuado del agua, etc.)

Una vez seleccionado este método, con búsquedas en la bibliografía se encontró una serie de indicadores que se presentarán a continuación. Se planteo el problema de cómo seleccionar los más relevantes. Primero, se buscó las palabras claves de lo que

se quería medir (por ejemplo, ¿relación entre la disponibilidad del agua y el crecimiento urbano?) y se encontró la forma en la que se podían medir estos mismos parámetros. Un problema al que se enfrentó es que ciertos parámetros son difíciles de medir siendo más cualitativos que cuantitativos (por ejemplo cómo evaluar la cultura del agua, las prácticas culturales, la conciencia social, etc.).

### 5.2. Niveles de sustentabilidad

Los indicadores deseados deben de reflejar los niveles de sustentabilidad del sistema hídrico urbano y de los usos domésticos en el AMM. Estos niveles se describen en la Tabla 5.1. El nivel A siendo lo más sustentable y el nivel D lo menos sustentable. Además deben de tener las características previamente mencionada o sea ser fáciles de usar, indicar la sustentabilidad o ausencia de la misma, poder aplicarse de manera más general (no sólo válido para el AMM por ejemplo), representar un (o más) aspecto(s) del sistema y se puede extrapolar, gracias a la presencia de datos suficientes, sus tendencias en el tiempo y el espacio.

**Tabla 5.1: Niveles de sustentabilidad para sistemas hídricos**

Nivel	Infraestructura caracterizada por	Organización caracterizada por
A	Tecnología limpia. Uso eficiente del agua y máxima utilización de desechos. Tecnologías de separación en sanitarios. Reciclaje de agua y nutrientes	Intentos para identificar y adoptar prácticas sustentables. Reconocimientos de la necesidad de colaboración con tomadores de decisión, usuarios y otros grupos de interés. Conciencia de lo que la sustentabilidad representa y los beneficios potenciales para la sociedad. Toma de decisiones proactivas.
B	Tecnología por arriba de los estándares para protección ambiental, pero todavía enfocada al cumplimiento exclusivamente. Monitoreo regular del agua potable, de las aguas pluviales y de la calidad de las aguas residuales. Tratamiento y recuperación de energía utilizando técnicas avanzadas.	Planeación regional de operación, tratamiento y mantenimiento. Programas a largo plazo con participación múltiple.
C	Tecnología satisface estándares mínimos de protección ambiental y metas de salud.	Preocupación sobre la satisfacción del usuario y la opinión pública
D	Tecnología no satisface demanda de agua y la protección de la salud de la población. Incertidumbre en el suministro diario y un mínimo de monitoreo ambiental	Restricciones de infraestructura y de tipo legal y financiero. Toma de decisiones reactiva que depende de las quejas de los usuarios. Operación, mantenimiento y recuperación de costos inadecuados. Alto grado de expansión.

Fuente: [11]

### 5.3. Indicadores de sustentabilidad para sistemas hídricos

Se formularon 7 diferentes tipos de indicadores:

*Físicos:* relacionados directamente con los recursos hidrológicos y los consumos. En esta parte, la prioridad es medir la sustentabilidad de la gestión del agua en términos

de explotación de los recursos hidrológicos.  $\left( \frac{\text{Extracción}}{\text{Recarga}}, \right.$

$$\left. \frac{\text{litros\_de\_agua\_potable\_utilizada}}{\text{numero\_de\_habitantes}}, \frac{\text{Consumo\_util}}{\text{Volumen\_realmente\_utilizado}} \right)$$

*Ambientales:* relacionados con la calidad del agua y su entorno. En este caso, la prioridad es medir la sustentabilidad de la gestión del agua en cuanto a la contaminación generada y a los efectos adversos en la biodiversidad. (por ejemplo,

$$\left. \frac{\text{mg\_metales, DBO, dureza}}{\text{litros\_agua}} \right).$$

*Salud:* relacionados con las condiciones sanitarias. Se toman en cuenta la contaminación, la cobertura del sistema de drenaje. La prioridad es medir la sustentabilidad de la gestión del agua en cuanto al grado de exposición humano y del ecosistema.

*Sociales:* relacionados con el acceso al agua potable y al drenaje sanitario. La prioridad en esta parte es medir la sustentabilidad de la gestión del agua en cuanto al porcentaje de personas con acceso a agua potable tanto en el aspecto físico como

económico (por ejemplo  $\frac{\text{Precio\_litro\_agua}}{\text{PIB/habitante}}$  )

*Administrativos:* relacionados con el manejo de los recursos hidrológicos. La prioridad en este caso es medir la sustentabilidad de la gestión del agua en cuanto a la

eficiencia del sistema (cobertura del sistema,  $\frac{\#empleos\_en\_el\_sector}{\text{poblacion\_total}}$  por ejemplo)

*Económicos:* relacionados con todos los costos, impuestos, subsidios, multas, precio real del agua, etc. La prioridad es medir la sustentabilidad de la gestión del agua en cuanto a la internalización de los costos de operación, mantenimiento, transporte, etc. en el precio del agua.

(por ejemplo :  $\frac{\text{Costo\_real\_de\_produccion\_y\_tratamiento\_y\_mantenimiento}}{\text{Precio\_al\_consumidor}}$  )

*Jurídicos:* relacionados con las leyes, normas, regulaciones y penalizaciones. La prioridad es medir la sustentabilidad de la gestión del agua en cuanto a la actualización de las leyes o a la cantidad de penalizaciones aplicadas.

En la Tabla 5.2 se ven los indicadores más comunes que reflejan cada uno de los aspectos mencionados en lo anterior.

**Tabla 5.2: Indicadores de sustentabilidad para sistemas hídricos**

<i>Sistema</i>	<i>Indicador</i>	<i>Formula</i>	<i>Unidades</i>
<b>Aspectos físicos</b>			
Acuífero (fuente principal)	Extracción (presión)	Volumen anual extraído/ Volumen anual disponible	%
	Sobre-explotación	Extracción/Recarga	%
	Disponibilidad (estado)	Nivel de abatimiento del acuífero	m/año
	Demanda (presión)	Consumo por sector/agua disponible	%
	Calidad del agua (estado)	Contenido de metales en el agua	mg/l
	Protección (respuesta)	Fuentes protegidas	%
		Zona de veda	km <sup>2</sup>
	Recarga (respuesta)	Volumen infiltrado/ Precipitación	%
	Almacenamiento (respuesta)	Volumen captado/Escurrimiento	%
Corrientes superficiales (fuentes alternas)	Disponibilidad (fuerza)	Contribución del volumen total de suministro	%
	Consumo (presión)	Consumo urbano diario per capita	m <sup>3</sup> /cáp.día
	Purificación (respuesta)	Nivel de tratamiento requerido	W/cáp, W/m <sup>3</sup>
	Cobertura (respuesta)	Viviendas con acceso a agua entubada	%
	Distribución (respuesta)	Fugas (agua entregada/agua producida)	%
	Calidad del agua potable	Concentración de coliformes fecales	UFC/100ml
	Reuso (respuesta)	Agua reciclada/agua consumida	%
	Eficiencia en uso agrícola (respuesta)	Volumen aprovechado en cultivo / Volumen total extraído para riego	%
Agua residual	Producción (presión)	Aguas residuales producidas por día	m <sup>3</sup> /cáp.día
	Cobertura (estado)	Viviendas conectadas a la red	#
	Sistema de recolección (estado)	Agua residual producida/agua consumida	%
	Eficiencia agua tratada	Aguas tratadas/aguas producidas	%
	Eficiencia en el tratamiento	Concentración de descargas de DBO5, P y N	mg/l
	Reciclaje parcial	Agua reciclada/agua residual	%
	Reciclaje total	Agua reciclada/agua producida	%
	Reciclaje industrial	Industrias con reciclaje en procesos/total de industrias	%
	Cargas a las corrientes receptoras (presión)	Concentración de nutrientes (SO4,PO4,NO3)	mg/l
	Calidad de las descargas	Concentración de sustancias patógenas	UFC/100ml
Lodos tratados	Disposición/ Reuso de lodos	Cantidad de lodo depuesto o reusado	Kg/cáp. año
	Reciclaje de nutrientes	P y N reciclados/ Cantidad total de P y N recibidos	%
	Calidad de los lodos	Contenido de Cadmio en los lodos	mg Cd/kg
Uso del suelo	Urbanización (estado)	Área urbana impermeable	%

Fuente: [11]

**Tabla 5.2: Indicadores de sustentabilidad para sistemas hídricos (continuación)**

<b>Sistema</b>	<b>Indicador</b>	<b>Formula</b>	<b>Unidades</b>
	Urbanización (respuesta)	Área de recarga/área total	%
		Área protegida/ Área total	%
	Urbanización (presión)	Cambio de uso de suelo/ usos territoriales recomendados	%
		Frecuencia de inundaciones	#/ año
		Áreas verdes/ habitante	m <sup>2</sup> /hab
	Urbanización (impacto)	Agrietamientos por sobre-explotación	#/ año
		Hundimientos por sobre-explotación	#/ año
		Costos por inundaciones/Inversión para prevención de inundaciones	%
		Escurrimientos pluviales urbanos/Volumen total de lluvia	%
		Áreas inundadas/área total urbana	%
Proyectos (respuesta)	Reducción de la demanda	Ahorro/Volumen total producido	%
<b>Aspectos ambientales</b>			
Agua potable	Calidad del agua (estado)	Índice de pureza o potabilización	Alta/mediana/baja
	Contaminación del agua (estado)	Concentración de coliformes fecales y totales	UFC/100ml
		Concentración de sólidos totales	mg/l
Agua residual	Contaminación por las aguas (estado)	Concentración de sustancias patógenas	%
		Concentración de metales pesados bioacumulables	mg/l
	Recolección alternativa	Fosas sépticas/red de alcantarillado	%
Políticas	Auditorias ambientales (respuesta)	Impacto ambiental	Alto/medio/Bajo
	Iniciativas (respuesta)	Proyectos de sustentabilidad/Proyectos totales	%
Biodiversidad	Flora (estado)	Presencia de plantas que reflejan el buen estado de salud del sistema	Alto/medio/Bajo
	Fauna (estado)	Presencia de animales que reflejan el buen estado de salud del sistema	Alto/medio/Bajo
	Flora y fauna	Presencia de especies remediadoras	Alto/medio/Bajo
	Bosque (estado)	Nivel de forestación	Alto/medio/Bajo
	Bosque (respuesta)	Acciones de reforestación	Alto/medio/Bajo
		Conservación de zonas de recarga	Alto/medio/Bajo
	Diversidad	Antes y después del tratamiento	Alto/medio/Bajo
Energía	Abastecimiento (presión)	Electricidad/Volumen producido	W/m <sup>3</sup>
	Tratamiento (presión)	Electricidad/Volumen tratado	W/m <sup>3</sup>
Proyectos	Impacto ambiental	Proyectos con impacto ambiental/proyectos totales	%
	Estrés del agua	Proyectos del agua/proyectos totales	%
	Sistemas hídricos		
	Índices de biomonitoreo		

Fuente: [11]

**Tabla 5.2: Indicadores de sustentabilidad para sistemas hídricos (continuación)**

<b>Sistema</b>	<b>Indicador</b>	<b>Formula</b>	<b>Unidades</b>
<b>Aspectos Salud</b>			
Sanidad	Cobertura (presión)	Población sin agua potable	%
		Viviendas con alcantarillado	%
	Cobertura (estado)	Población con acceso a servicios	%
	Aguas tratadas	Aguas tratadas/total aguas residuales	%
	Aguas no tratadas	Aguas vertidas a cielo abierto/total aguas residuales	%
	Aguas no tratadas (presión)	Grado de exposición al ecosistema	Alto/medio/Bajo
		Grado de exposición al humano	Alto/medio/Bajo
	Infecciones (estado)	Índice de enfermedades gastrointestinales	#/100hab
	Infecciones (presión)	Brotos de infección	#/ año
	Higiene (estado)	Acceso a baños y sanitarios	%
Costos	Económicos (respuesta)	Gasto público por prevención de epidemias/ presupuesto sector salud	%
		Gasto público por control de epidemias/ presupuesto sector salud	%
		Gasto público por tratamiento de epidemias/ presupuesto sector salud	%
	Humanos (impacto)	Pérdida de vidas por enfermedades relacionadas con agua sucia y contaminada	#/ año
<b>Aspectos sociales</b>			
Población	Crecimiento (presión)	Índice de crecimiento de la población en relación al abatimiento del acuífero	$\frac{(\text{hab/año})}{(\text{m/año})}$
		Densidad relativa	Habitantes/agua disponible
Derecho ciudadano	Acceso (estado)	Porcentaje de la población con acceso seguro a agua potable	%
	Distancia (estado)	Distancia a la fuente	m
	Cobertura (estado)	Población con acceso a agua entubada	%
		Niveles de servicio	hrs/día
Ahorro en la sociedad (respuesta)		Sector doméstico	%
		Sector público	%
		Sector industrial	%
		Sector comercial	%
Programas de concientización	Cobertura (respuesta)	Alcance a la distribución de la información a la población	%
	Publicidad (respuesta)	Boletines distribuidos	#/ año
	Educación (respuesta)	Talleres de trabajo	#/ año
		Inversión sobre conservación/presupuesto sector ambiental	%
		Escuelas con programas permanentes	%
Integración usuario-organismo	Información (respuesta)	Efectividad de la pagina web	#entradas/día

Sistema	Indicador	Formula	Unidades
	Participación ciudadana (estado)	Frecuencia de contacto ciudadano con el organismo operador	#encuentros/mes

Fuente: [11]

**Tabla 5.2: Indicadores de sustentabilidad para sistemas hídricos (continuación)**

Sistema	Indicador	Formula	Unidades
	Evaluación de programas (estado)	Índice de aceptación ciudadana en las decisiones sobre asuntos del agua	Alto/medio/Bajo
Educación	Nivel de escolaridad (estado)	Población con primaria terminada	%
		Población con secundaria terminada	%
		Población con preparatoria terminada	%
		Población con educación superior	%
		Población con grado académico (tec)	%
		Población con grado académico (lic)	%
		Población con grado académico (mas)	%
		Población con grado académico (doc)	%
Marginación	Falta de oportunidades (estado)	Educación/Trabajo/Salud	%
		Agua/Electricidad/Caminos	%
Justicia social	Desigualdad en precios	Costo promedio por m <sup>3</sup> de agua entubada/costo por m <sup>3</sup> en pipa	%
	Pobreza (estado)	Pobres/total de la población	%
<b>Aspectos Administrativos</b>			
Infraestructura	Cobertura (estado)	Número de medidores/ número de viviendas con servicio de agua potable	%
		Viviendas con suministro continuo/ viviendas totales con servicio	%
	Antigüedad (estado)	Tubería obsoleta/tubería total	%
	Sistema celular (estado)	Instalado/total	%
Mantenimiento	Bloqueo de drenaje (presión)	Drenaje tapado/drenaje total	%
Operación	Eficiencia (estado)	Volumen fugas/Volumen producido	%
		Volumen desviado/Volumen producido	%
		Volumen facturado/Volumen producido	%
		Facturación/Cobranza	%
		Productividad	%
		Rentabilidad	%
	Eficiencia corporativa (estado)	Agua vendida por trabajador/personas servidas por trabajador	%
		Medidores servidos/medidores leídos	%
		Costos de operación/ingresos	%
	Atención (respuesta)	Quejas resueltas/quejas totales	%
<b>Aspectos Económicos</b>			
Costos	Presupuesto (estado)	Capital disponible/ necesidades	%
	Costo	Precio al consumidor (respuesta)	\$/m <sup>3</sup>
		Real de producción (estado)	\$/m <sup>3</sup>
		Costo por tratamiento de aguas residuales	\$/m <sup>3</sup>
		Mantenimiento del sistema	\$/m <sup>3</sup>
		Costo por impacto ambiental	\$/m <sup>3</sup>
	Rentabilidad (respuesta)	Usuarios que pagan	%

<i>Sistema</i>	<i>Indicador</i>	<i>Formula</i>	<i>Unidades</i>
Gravables	Impuesto al sector doméstico (respuesta)	Impuesto/costo por consumo	%
	Impuesto al sector industrial (respuesta)	Impuesto/costo por consumo	%

Fuente: [11]

**Tabla 5.2: Indicadores de sustentabilidad para sistemas hídricos (continuación)**

<i>Sistema</i>	<i>Indicador</i>	<i>Formula</i>	<i>Unidades</i>
	Subsidios	Subsidio/costo real de producción	%
	Multas (respuesta)	Monto	\$/ m <sup>3</sup>
	Cargos(respuesta)	Cargos por uso excesivo	\$/ m <sup>3</sup>
	Premios(respuesta)	Premios por ahorro	\$/ m <sup>3</sup>
Finanzas	Inversión (estado)	Gobierno federal	%
		Gobierno estatal	%
		Capital propio	%
		Crecimiento	%/ año
		Mantenimiento/inversión total	%
		Operación/inversión total	%
		Rentabilidad	%
Economía	Poder adquisitivo	Pago por consumo/ingreso	%
	Ahorro	Ahorro por reciclaje de aguas residuales	\$/ m <sup>3</sup>
<b>Aspectos jurídicos</b>			
Promulgación	Norma	Concesiones en el AMM	#/ km <sup>2</sup>
		Reglamentación actualizada acorde	1/ 0
Divulgación	Regulación	Conocimiento de las leyes	%
		Acatamiento de las leyes	%
		Cumplimiento de las leyes	%
Aplicación	Penalización	Delitos ambientales	#/ año
		Delitos consignados/total	%

Fuente: [11]

## 6. METODOLOGÍA

Este capítulo presenta la metodología aplicada en esta investigación. Cabe resaltar que la metodología que a continuación se presenta en la primera parte consta de 10 pasos, los cuales también se explican. En una segunda parte, se trata de la calidad de los datos y de la información y en una última parte, se hace una estimación de los indicadores.

### **6.1 Metodología:**

La metodología utilizada para esta investigación consta de 10 pasos los cuales se muestran en la figura 6.1 (siguiente página), los cuales son:

1. Estudio del Estado del arte;
2. Recopilación de información primaria y secundaria;
3. Análisis de la situación del AMM;
4. Análisis de las medidas de sustentabilidad implementadas;
5. Análisis de los parámetros económicos de sustentabilidad;
6. Definición de los indicadores en función de los objetivos;
7. Búsqueda de los datos faltantes y re-definición de los indicadores en función de los datos conseguidos;
8. Evaluación de los indicadores/Presentación de resultados;
9. Determinación de áreas de oportunidad de mejora;
10. Conclusiones.

A Continuación se presenta una breve descripción de los pasos que se siguieron en la metodología.

#### **6.1.1 Estudio del Estado del arte**

Estudio del estado del arte consistió en una investigación sobre los estudios de sustentabilidad y los indicadores de sustentabilidad, la cual se realizó primero con el estudio de tópicos relacionados con la gestión sustentable del agua en zonas urbanas del mundo (en México, en España, en Francia, etc.). Esto fue el resultado principalmente de una recopilación bibliográfica y constituyó un estudio del arte sobre sustentabilidad y agua.



**Figura 6.1: Metodología**

### **6.1.2 Recopilación de información primaria y secundaria**

Se realizó en una segunda etapa una búsqueda bibliográfica y entrevistas lo que nos permitió tener una recopilación de información sobre el área metropolitana de Monterrey.

### **6.1.3 Análisis de la situación del AMM**

De los datos conseguidos, se identificó y recopiló la información general relativa a la situación en el AMM tales como su situación geográfica, extensión territorial,

parámetros demográficos e importancia económica de la región, industrias y datos generales del agua (como consumos de agua, tarifas, etc.) entre otros.

#### **6.1.4 Análisis de las medidas de sustentabilidad implementadas**

Gracias a la primera etapa se consiguió una serie de medidas permitiendo una reducción en el consumo de agua. Se analizó su nivel de implementación en el AMM gracias a los datos recopilados en la segunda etapa.

#### **6.1.5 Análisis de los parámetros económicos de sustentabilidad**

En la primera etapa se estudió el precio real del agua en forma teórica y en casos prácticos reales. Se analizó de esta manera los parámetros económicos en el AMM de tal manera que se pudiera evaluar que tan sustentable es el precio actual del agua.

#### **6.1.6 Definición de los indicadores en función de los objetivos**

El procedimiento de selección de los indicadores, se adoptó el utilizado por la Cooperación Científica México-Suecia en su estudio sobre *Sistemas Hídricos Sustentables: Estudio para la ciudad de Querétaro y sus alrededores*, se usó el método DSPIR (referirse al capítulo V) ya que es un método adecuado a nuestro caso (es un método típico usado para este tipo de investigación). No sólo es un método recomendado para estudios de sustentabilidad sino que además permite llegar a ciertas conclusiones en cuanto al sistema estudiado (cuantitativamente y cualitativamente).

Una vez seleccionado el método DSPIR y con búsquedas en la bibliografía, se encontró una serie de indicadores típicos representativos para esta investigación ([11], [32], [44]). El problema fue cómo seleccionar los más relevantes.

Los principales problemas para la selección de indicadores fueron los siguientes:

- a) Los parámetros son difíciles de medir porque son más cualitativos que cuantitativos. Se buscó las palabras claves de lo que se quería medir, por ejemplo: ¿relación entre la disponibilidad del agua y el crecimiento urbano?, y se encontró la forma en la que se podían medir estos mismos parámetros. Sin embargo, ciertos parámetros son difíciles de medir siendo más cualitativos que cuantitativos (por ejemplo cómo evaluar la cultura del agua, las prácticas culturales, la conciencia social, etc.)

- b) La selección de los indicadores puede ser subjetiva debido a que influye la decisión personal y las siguientes:
- a. Se seleccionaron los indicadores más sencillos o fáciles de obtener información;
  - b. no se cuenta con una regla en cuanto a que indicador elegir;
  - c. no se cuenta con datos suficiente;
  - d. no se cuenta con datos confiables sino con información informal de personas en el área que dan un criterio subjetivo porque dependen de la visión de una persona;
  - e. se basó en los indicadores empleados en otros estudios similares (principalmente el estudio de sistemas Hídricos Sustentables: para la ciudad de Querétaro).

Se evaluó la simplicidad de interpretación y la facilidad de obtención de los datos de manera subjetiva en función del tiempo de procesamiento para tener el indicador y de la facilidad para interpretar el resultado obtenido para el primero y en función del tiempo y de la dificultad para conseguir los datos (incluyendo el precio también) para el segundo.

En la Tabla 6.1, que se presenta a continuación, se muestran los indicadores que se van a estudiar (en cuanto sea disponible la información necesaria para evaluarlos) para determinar el nivel de sustentabilidad del sistema hídrico y del uso doméstico del agua en el AMM. Se seleccionaron para representar todos los niveles previamente mencionados. Sin embargo, ya no se representaron de manera separada ya que ciertos indicadores pueden representar diferentes aspectos del sistema.

**Tabla 6.1: Indicadores de sustentabilidad para el sistema hídrico del AMM**

Indicador	Simplicidad de entendimiento, interpretación y presentación	Calidad, costo y facilidad de obtención de los datos □: difícil □□□: fácil
Extracción total	□□□	□
Disponibilidad total	□□□	□
Crecimiento vs acuífero	□□□	□
Uso del agua por sector	□□	□
Consumo diario doméstico per cápita	□□□	□□□
Consumo diario per ingresos per cápita	□□□	□
Aguas pluviales captadas	□□□	□□
Calidad del agua	□□□	□
Aguas residuales tratadas	□□□	□□
Contaminación del agua	□□□	□□
Biodiversidad	□□□	□
Acceso a agua potable	□□□	□
Acceso a servicios sanitarios (Cobertura agua potable/cobertura drenaje)	□□□	□
Exposición a aguas negras	□□□	□□
Infecciones	□□□	□□
Concientización	□□	□□
Participación ciudadana	□□	□□
Ahorro organismo y sociedad	□□	□□
Reuso y reciclaje	□□□	□□
Eficiencia y rentabilidad	□□	□□□
Solvencia e inversiones	□□	□□
Costo real del agua y servicios	□□□	□□□
Impuestos y subsidios	□□	□□□
Multas, Cargos y premios	□□	□□
Reglamentación obsoleta	□□	□□
Protección del acuífero	□□□	□□
Procuración de justicia	□□	□□
Responsabilidad colectiva	□□	□□

□□□: muy importante, □□: importante, □: sin importancia

Fuente: [11]

Los indicadores presentados en la tabla 6.1 se describen a continuación, se proporciona el número de indicadores por tema y un ejemplo del mismo.

***Extracción total***

Este indicador describe el agotamiento del recurso y permite ver si la extracción es sustentable o no (si la extracción es superior a la recarga, significa un gestión no sustentable). Este indicador es difícil de evaluar ya que depende de varios factores: evaluación de la cantidad de agua disponible en los acuíferos y en las aguas superficiales, clima, población entre otros. (Número de indicadores: 1, unidad: %)

***Disponibilidad total***

Este indicador es muy importante porque permite saber la cantidad de agua disponible para el uso y así planear su distribución. (Número de indicadores: 1, unidad: m<sup>3</sup>/hab/año)

***Crecimiento vs acuífero***

Este indicador describe el agotamiento del recurso comparando el crecimiento demográfico con el nivel de recarga anual del acuífero. (Número de indicadores: 1, unidad: %)

***Uso del agua por sector***

Este indicador indica el consumo de agua por sector. Se relaciona con el agua disponible. Esto permite ver la importancia del consumo de cada sector así como su eficiencia. (Número de indicadores: 1, unidad: %)

***Consumo diario doméstico per cápita***

Este indicador indica el consumo de agua. Esto permite ver la importancia del uso doméstico así como su eficiencia. (Número de indicadores: 1, unidad: m<sup>3</sup>/cáp/día)

***Consumo diario per ingreso per cápita***

Este indicador indica el consumo de agua según los ingresos del hogar. Esto permite ver si el ingreso se puede relacionar con el consumo de agua. (Número de indicadores: 1, unidad: m<sup>3</sup>/\$/día)

***Aguas pluviales captadas***

Este indicador permite tener una idea de la recarga al sistema. En esto cambia de los anteriores ya que en vez de evaluar el agotamiento del agua evalúa la recarga. (Número de indicadores: 1, unidad: %)

***Calidad del agua potable***

Este indicador representa la calidad del agua (después del proceso de potabilización y en la naturaleza). Esto es muy importante para la salud humana. El agua no debe rebasar ciertos niveles de bacterias y sustancias químicas determinados

por la norma de calidad del agua. (Número de indicadores: 1, unidad: Estimación, sin unidad)

### ***Aguas residuales tratadas***

Este indicador es importante ya que indica por ejemplo, un exceso en el consumo de agua o un aumento de las infiltraciones de fugas o de agua pluvial al sistema. Este indicador indica el desempeño de las plantas de tratamiento y el impacto a los ecosistemas. (Número de indicadores: 1, unidad: %)

### ***Contaminación del agua***

Este indicador, en conjunto con las aguas residuales tratadas, refleja la contaminación del agua. En efecto se toman en cuenta las emisiones de nutrientes y de sustancias con alta demanda de oxígeno que afectan en forma directa la calidad del agua. (Número de indicadores: 3, unidad: NMP/100ml, mg/1, ICA)

### ***Biodiversidad***

Este indicador se expresa con el nivel de presencia (o de ausencia) de las especies del ecosistema considerado. Ciertas especies reflejan de forma directa la salud del río. Sin embargo, este indicador supone el conocimiento de la biodiversidad del ecosistema y necesita estudios en las áreas cercanas a los pozos, drenajes, plantas de tratamiento y ríos, entre otros. (Número de indicadores: 1, unidad: Estimación, sin unidad)

### ***Acceso a agua potable***

Este indicador refleja un consumo seguro de agua reduciendo así los riesgos de infecciones y la frecuencia de las enfermedades asociadas con la contaminación del agua. La Comisión para el Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas (UNCSD, 1999) y la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2000) recomiendan 20 litros mínimo diarios per cápita. (Número de indicadores: 1, unidad: %)

### ***Acceso a servicios sanitarios***

Este indicador describe condiciones de salud pública. El buen acceso a facilidades sanitarias y su buen manejo para recolectar la orina y excrementos permite reducir el riesgo de infecciones y el número de enfermedades. (Número de indicadores: 1, unidad: %)

### ***Exposición a aguas residuales***

Este indicador describe el nivel de exposición del ser humano y del ecosistema a las aguas residuales y la contaminación del recurso y las condiciones de salud pública. Se relaciona con los indicadores de aguas residuales tratadas y biodiversidad. (Número de indicadores: 1, unidad: Estimación, sin unidad)

***Infecciones***

Este indicador permite conocer el porcentaje de la población afectada por las principales enfermedades relacionadas con el agua. Esto permite ver si este no se podría mejorar cambiando las condiciones sanitarias e higiénicas (descritas con los indicadores de acceso a agua potable y a servicios sanitarios) lo que reduciría el problema en su origen. (Número de indicadores: 1, unidad: #/1,000 hab)

***Concientización***

Este indicador incluye los programas de información y educación a la población. (Número de indicadores: 3, unidad: # empleados, # programas, # gente sensibilizada)

***Participación ciudadana***

Este indicador representa el nivel de involucro de de las asociaciones civiles en el proceso de planeación, ejecución e implementación de los proyectos relacionados con el agua. Permite describir la democracia del sistema. (Número de indicadores: 1, unidad: #encuentros/mes)

***Ahorro***

Este indicador representa los esfuerzos del organismo operador y de los usuarios para mantener la red en buenas condiciones. Se incluyen los cambios de partes obsoletas de la red o cambios por equipos ahorradores de agua entre otros. Representa la conservación del recurso. (Número de indicadores: 3, unidad: %, #nuevo medidores/año, km/año)

***Reuso y reciclaje***

Esto indicador representa la cantidad de agua residual o tratada que se recicla. También incluye el reciclo de los lodos tratados como abono. Describe tanto la eficiencia del sistema como la conservación del recurso. (Número de indicadores: 1, unidad:%)

***Eficiencia y rentabilidad***

Este indicador describe las pérdidas de agua del sistema. Se puede expresar como porcentaje de fugas o ahorro relacionado con la reducción de fugas. Describe tanto la eficiencia del sistema como la conservación del recurso. (Número de indicadores: 1, unidad:%)

***Solvencia e inversiones***

Este indicador describe la eficiencia del sistema. La sustentabilidad del sistema se refleja en su solvencia y rentabilidad económica. (Número de indicadores: 1, unidad:\$)

### ***Costo real del agua***

Este indicador describe la conservación del recurso. Es importante para la sustentabilidad del recurso que el costo real y justo del agua (evaluándolo con la mayor cantidad de parámetros involucrados o sea costos de operación, mantenimiento, etc.). Esto es importante también para la solvencia del sistema. La disposición a pagar de los usuarios es también un factor importante. (Número de indicadores: 1, unidad: Estimación, sin unidad)

### ***Impuestos y subsidios***

Este indicador describe la conservación del recurso. En general, los impuestos permiten ahorros de agua mientras que los subsidios resultan en un uso irresponsable y desperdicios de agua. (Número de indicadores: 1, unidad: Estimación, sin unidad)

### ***Multas, cargos y premios***

Este indicador describe la conservación del recurso. Las multas, cargos y premios permiten regular el consumo y promover un uso más responsable y más sustentable del agua. Además, las multas y los cargos representan ingresos al sistema. Los premios se dan en general en forma de ahorros en los pagos de los usuarios. (Número de indicadores: 1, unidad: Estimación, sin unidad)

### ***Reglamentación obsoleta***

Este indicador describe la preservación del sistema. Las leyes, reglamentos y normas deben de actualizarse con el tiempo para solucionar los problemas de la sociedad moderna. Este indicador refleja si la reglamentación está actualizada o no. (Número de indicadores: 1, unidad: Estimación, sin unidad)

### ***Protección del acuífero***

Este indicador refleja si la protección del acuífero es efectiva o no. Además, la reglamentación debe permitir la protección del acuífero. Describe la conservación del recurso.

### ***Procuración de justicia***

Este indicador refleja que tanto la sociedad es concientizada (a través del número de penalización a las que hubo que recurrir). Describe la preservación del sistema. (Número de indicadores: 1, unidad: # delitos en relación al agua / # total delitos)

**Responsabilidad colectiva**

Este indicador representa el papel de la responsabilidad colectiva en la conservación del recurso (a través de la actitud diaria hacia la conservación del recurso). Describe la preservación del sistema. (Número de indicadores: 1, unidad: Estimación, sin unidad)

**6.1.7 Búsqueda de los datos faltantes y re-definición de los indicadores en función de los datos conseguidos**

La etapa siguiente fue conseguir la información faltante lo que fue a veces muy complicado por diferentes razones (porque había cuestiones de disponibilidad, de accesibilidad o de viabilidad de los datos). Si no se encontraban los datos necesarios, se buscaba datos cercanos (por ejemplo ampliando un poco la región como los datos utilizados para la recarga y la extracción) o bien se cambiaba de indicador. Se decidió dar un peso equivalente a todos los indicadores ya que se quiere estimar el nivel de sustentabilidad y entonces los 3 rubros (social, económico y ambiental) tienen la misma importancia.

**6.1.8 Evaluación de los indicadores/Presentación de resultados**

Se desarrollaron los indicadores más relevantes para el estudio de la gestión del agua en su uso doméstico en el AMM. Se redujo el número de indicadores a fin de disminuir el tiempo del estudio.

**6.1.9 Determinación de áreas de oportunidad de mejora**

Por fin, se procedió a un análisis para determinar el nivel de sustentabilidad del uso doméstico del agua en el AMM. Y con base a los resultados de este análisis se determinó el nivel de sustentabilidad del agua y se identificaron las áreas de oportunidad de mejora.

**6.1.10 Conclusiones y recomendaciones**

En base a todo lo que se analizó en las etapas anteriores y a los resultados de todos los indicadores (a excepción de los que no se pudieron evaluar) se elaboraron las conclusiones y las recomendaciones que surgieron.

## **6.2 Calidad de los datos o de la información**

La calidad de la información también fue un problema. Los datos conseguidos por sitios web o mediante entrevistas del gobierno (INEGI, SEMARNAT, CNA, etc.) o de la empresa proveedora (SADM) se consideran confiables. Sin embargo, otros datos conseguidos mediante fuentes con incertidumbres se consideraron de calidad aceptable cuando se encontraba el mismo valor en distintas fuentes. También se encontraron datos de mala calidad ya que no se encontraba el mismo valor en las diferentes fuentes pero estos valores ya no se mencionaron en este reporte debido a la importancia de la calidad de los datos para el valor del indicador.

## **6.3 Estimaciones de indicadores**

Cuando los indicadores eran más cualitativos que cuantitativos, y para estimarlos, se analizó la información que se tenía y de manera subjetiva (con los conocimientos adquiridos en el estudio sobre el Estado del arte). Así, por ejemplo se evaluó no sustentable la protección del acuífero ya que no existe protección jurídica del mismo por medio de leyes, normas o reglamentos. Para un mayor entendimiento, se explica como se evaluó o estimó cada indicador en el capítulo 7.

## 7. RESULTADOS

Con los datos obtenidos en los capítulos anteriores y las referencias presentadas en los Apéndices, se procedió a un análisis para determinar el nivel de sustentabilidad del uso doméstico del agua en el AMM (no toda la información se pudo conseguir). Cuando por falta de datos se tenía un indicador cualitativo más que cuantitativo se evaluó la sustentabilidad sin referencia (en efecto las referencias se encuentran para indicadores cuantitativos) lo que da al indicador un valor menos general que los demás pero sin embargo permite tener una buena idea del nivel de sustentabilidad. En una próxima investigación, se recomienda dar un valor cuantitativo a los indicadores cualitativos que se tienen a fin de permitir más fácilmente la comparación con diferentes regiones y averiguar la validez de estos indicadores con expertos. Al final de este capítulo se compara la situación del AMM con la de Querétaro.

### **7.1. Evaluación de los indicadores**

#### **7.1.1 Extracción total**

##### **Evaluación:**

Sobre-explotación (ver Apéndice 4, 5 y 11): Se extrae más de lo que se debe porque:

Fuentes subterráneas del AMM se tiene  $113 \text{ hm}^3 / 92.7 \text{ hm}^3 = 121.9\%$  y una disponibilidad media anual de  $-31.6 \text{ hm}^3$

Fuentes superficiales en la cuenca San Juan:  $879.6 / 1,006.46 = 87.4\%$  (pero el valor en el área metropolitana de Monterrey no se conoce)

##### **Explicación:**

Se evaluó el nivel no sustentable por lo que la sobre-explotación implica que se puede agotar el recurso.

#### **7.1.2 Disponibilidad total**

##### **Evaluación:**

La disponibilidad anual por *habitante*, apenas alcanza los  $1,300 \text{ m}^3 / \text{hab} / \text{año}$  (dato para toda la cuenca)  $< 2,000 \text{ m}^3 / \text{hab} / \text{año}$

**Explicación:**

Se evaluó no sustentable el nivel según la clasificación presentada en el Apéndice 10 que dice que una disponibilidad de 1,000 a 2,000 m<sup>3</sup>/hab/año es muy baja.

**7.1.3 Crecimiento vs acuífero****Evaluación:**

En toda la cuenca Río San Juan:

$$229,230 \text{ hab/año} / 1,594 \text{ hm}^3 = +144 \text{ hab/hm}^3 / \text{año}$$

Como el consumo promedio por habitante en la cuenca es de 209.4 m<sup>3</sup>, esto da +18.9 m<sup>3</sup> extraído/hm<sup>3</sup> /año

**Explicación:**

Se evaluó no sustentable porque se ve que se aumenta la extracción de agua y entonces aumenta la presión sobre el acuífero.

**7.1.4 Uso del agua por sector****Evaluación:**

Se toman en cuenta los consumos por sector abastecidos por SADM. Se espera una discrepancia entre el agua que se vende y el que se consume. No se toman en cuenta los pozos concedidos por CNA ya que no se disponía de la información. No se conoce la recarga promedio en la zona del área metropolitana de Monterrey. Sería interesante obtener este valor y compararlo con el valor de 232 hm<sup>3</sup> que representaría el equilibrio)

$$\text{Doméstico: } 165,272,000 \text{ m}^3 / 232 \text{ hm}^3 = 71.2\%$$

$$\text{Industrial: } 9,089,892 \text{ m}^3 / 232 \text{ hm}^3 = 12.8\%$$

$$\text{Comercial: } 29,666,859 \text{ m}^3 / 232 \text{ hm}^3 = 3.9\%$$

$$\text{Público: } 27,957,942 \text{ m}^3 / 232 \text{ hm}^3 = 12.0\%$$

**Explicación:** Se estimó bajo el nivel de sustentabilidad debido a que se supone que la recarga es menor a 232 hm<sup>3</sup> y que se sobre-explotan las fuentes de agua.

**7.1.5 Consumo diario doméstico per cápita**

**Evaluación:** 130 l/cáp/día

**Explicación:** Se evaluó bueno el nivel de sustentabilidad del consumo diario doméstico per cápita ya que a nivel mundial es correcto (por ejemplo, 326 l/cáp/día en Canadá y 98 l/cáp/día en Polonia)

### 7.1.6 Consumo diario per ingresos per cápita

**Evaluación:** No evaluado

**Explicación:** No se pudo evaluar por falta de información accesible para la evaluación.

### 7.1.7 Aguas pluviales captadas

**Evaluación:** Volumen de agua captado/volumen total llovido: bajo (subjetivo al criterio de SADM).

**Explicación:** Se evaluó bajo el nivel de sustentabilidad de las aguas pluviales tratadas ya que no hay sistema de captación y que lo que se capta es lo que entra al sistema de drenaje.

### 7.1.8 Calidad del agua potable

**Evaluación:** Media (en base a los criterios de calidad implementados en otros países como Estados Unidos por ejemplo)

**Explicación:** Se evaluó media la calidad del agua potable porque aunque cumple con la norma, en comparación con otros países, la calidad del agua es media.

### 7.1.9 Aguas residuales tratadas

**Evaluación:** 100% (después de la construcción y ampliación de las plantas)

**Explicación:** Se evaluó satisfactorio el nivel de sustentabilidad de las aguas tratadas ya que se anuncia el 100% de las aguas residuales se trata.

### 7.1.10 Contaminación del agua

**Evaluación:** (Apéndice 11 y 12)

*Agua potable:* (Norma NOM-127 SSA/97, ver Tablas 2.6 y 7.1)

Coliformes totales < 2.2NMP/100ml

Coliformes fecales no detectados

Concentración de metales pesados 8.643 mg/l

*Agua superficial:* contaminada

→ Río San Juan: ICA(Índice de Calidad del Agua): 54 (contaminado)

→ Río pesquería: 43 (fuertemente contaminado)

→las 3 presas: aptas como fuentes de abastecimiento

Se evaluó media la calidad del agua porque aunque la mayor parte de las fuentes superficiales se pueden usar como fuente de abastecimiento, no siempre se puede tener vida acuática y existe contaminación en ciertas fuentes (como el Río Pesquería)

*Agua subterránea:* n.a

**Tabla 7.1: Calidad del agua potable en la red domiciliaria del AMM**

PARÁMETRO	UNIDADES	NOM 127 SSA/97	MTY
Coliformes totales	NMP/100ml	<2.2	<2.2
Coliformes fecales	NMP/100ml	-	ND
Metales Pesados	mg/l	208.481	<8.22

Fuente: SADM[40]

**Explicación:** Se evaluó medio el nivel de contaminación del agua porque aunque la mayor parte de las fuentes superficiales se pueden usar como fuente de abastecimiento, no siempre se puede tener vida acuática y existe contaminación en ciertas fuentes (como el Río Pesquería).

### 7.1.11 Biodiversidad

**Evaluación:** Media (según la CONABIO y ver Apéndice 12).

**Explicación:** Se evaluó medio el nivel de sustentabilidad de la biodiversidad porque se considera que hay una alta biodiversidad pero también que se considera que es una región amenazada. Aparece en la lista de regiones hidrológicas prioritarias. Como se considera amenazada, se ha considerado poner media en cuanto a la biodiversidad.

### 7.1.12 Acceso a agua potable

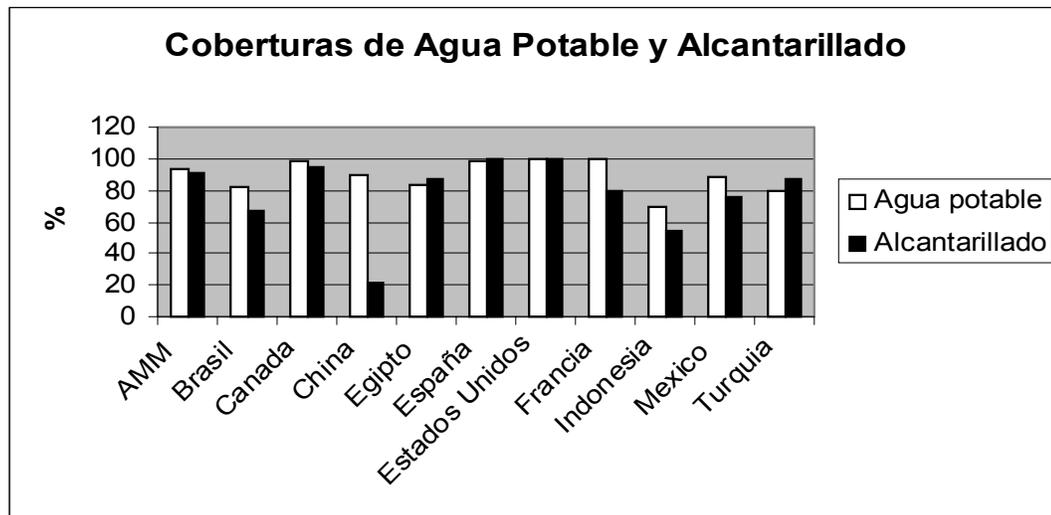
**Evaluación:** 94% lo que representa aproximadamente 3.02 millones de personas en el año 2000 (General Escobedo y Apodaca, 87% y 80% respectivamente) (ver Apéndice 10)

**Explicación:** Se evaluó “medio-bueno” el nivel de sustentabilidad del acceso a agua potable ya que a nivel mundial es aceptable en comparación por ejemplo con Francia 100% o Indonesia 69% como se puede ver en la gráfica 7.1 y que los valores de General Escobedo y Apodaca son más bajos (y bajan el nivel de sustentabilidad).

### 7.1.13 Acceso a servicios sanitarios

**Evaluación:** 91% lo que representa aproximadamente 2.9 millones de personas en el año 2000 (ver Apéndice 10)

**Explicación:** Se evaluó bueno el nivel de sustentabilidad del acceso a agua potable ya que a nivel mundial es aceptable en comparación por ejemplo con España 100%, Francia 79% o Indonesia 54% como se puede ver en la gráfica 7.1.



Fuente: CNA [7]

**Gráfica 7.1: Coberturas de Agua Potable y Alcantarillado**

#### 7.1.14 Exposición a aguas residuales

**Evaluación:** Media (debido a que hay contaminación de las aguas superficiales y que si llega demasiado agua residual a las plantas de tratamiento – debido a la infiltración de las lluvias al drenaje por ejemplo – se desvía el excedente de manera a no saturar las plantas de tratamiento. Esto contribuye a la contaminación de las aguas superficiales y entonces a la exposición a aguas residuales)

**Explicación:** Se evaluó medio el nivel de sustentabilidad porque existe una exposición media a las aguas residuales.

#### 7.1.15 Infecciones

**Evaluación:** Pocas enfermedades relacionadas con el agua en N.L. (principales: 2.1 casos/1,000 habitantes en N.L. en comparación con 8 casos/1,000 habitantes en México)

**Explicación:** Se evaluó bueno el nivel de sustentabilidad ya que el número de infecciones no es muy alto.

#### 7.1.16 Concientización

**Evaluación:** 23 empleados + estudiantes voluntarios, 2 puestos permanentes, 15 programas diferentes de concientización, dirigido a todos.

Sin embargo, el problema aquí fue medir la eficiencia de la concientización, no es porque se informa a mucha gente que a su regreso a casa esta gente va a olvidar sus costumbres. Como esto es muy difícil de medir y que la información sobre el número de gente involucrado, se evaluaron los esfuerzos y el número de programas diferentes para llegar a la gente. (con los datos de la página web de SADM, se puede concluir que el programa sensibilizo mínimo al 6% de la población)

**Explicación:** Se evaluó bueno el nivel de sustentabilidad por el número de programas que existen y el número y variedad de personas que participan a estos programas.

### 7.1.17 Participación ciudadana

**Evaluación:** No evaluado

**Explicación:** No se pudo evaluar por falta de información accesible para la evaluación.

### 7.1.18 Ahorro organismo y sociedad

**Evaluación:** 65.1 % de avance, 4,846 km de tubería recorridos por año (120 km diario), 26 nuevo medidores/año de 1998-2000 (en tres años se dobló la cantidad de medidores en posesión de SADM). Ahorro de 489 lps (un 5% aproximadamente). Evaluando este valor económicamente gracias al cobro anual total (incluyendo el 25% de fugas) se obtiene aproximadamente un ahorro anual de 116.5 millones de pesos.

**Explicación:** Se evaluó bueno el nivel de sustentabilidad ya que los diferentes programas que existen para la reducción de las pérdidas permiten ahorros importantes.

### 7.1.19 Reuso y reciclaje

**Evaluación:** 881 lps (o  $0.27 \times 10^{-3}$  lps/hab) se reusa lo que representa aproximadamente 10% del agua potable distribuida.

**Explicación:** Se evaluó bajo el nivel de sustentabilidad del reuso ya que no más de un 10% del agua se reusa lo que no es suficiente aun cuando todo el agua no se puede reusar porque parte se pierde en fugas o tomas clandestinas.

### 7.1.20 Eficiencia y rentabilidad

**Evaluación:** 25 % de pérdidas en la red (es decir unos 2,450 lps aproximadamente).

**Explicación:** Se evaluó media la eficiencia del sistema porque se redujeron las pérdidas hasta un 25% pero que sin embargo un nivel más sustentable sería del orden de 15% (lo que representaría un ahorro de 980 lps o 233 millones de pesos aprox. o

$0.30 \times 10^{-3}$  lps/hab). Si se alcanzará un 20% ya sería bien lo que representaría un ahorro de 490 lps o 117 millones de pesos aprox. o  $0.15 \times 10^{-3}$  lps/hab).

### 7.1.21 Solvencia e inversiones

**Evaluación:** Resultado neto en los primeros 4 meses de 2003: \$42,660,000

Resultado neto en los primeros 3 meses de 2004: \$175,000

**Explicación:** Se evaluó medio el nivel de sustentabilidad de la solvencia del organismo proveedor ya que aunque se ve un resultado neto positivo, se nota también una reducción importante entre los primeros 4 meses de 2003 y los primeros 3 meses de 2004.

### 7.1.22 Costo real del agua y servicios

**Evaluación:** El costo depende del consumo mensual. Hay una internalización de una gran parte de los costos de mantenimiento del sistema y de tratamiento del agua. Sin embargo, no se toma en cuenta la valoración económica del recurso natural (es decir por ejemplo el valor que tiene el agua sólo con el hecho de existir y dar servicios a la naturaleza).

**Explicación:** Se evaluó medio el nivel de sustentabilidad del costo del agua ya que algunas características que deben de tomarse en cuenta para acercarse al precio real del agua, como por ejemplo valorar económicamente el recurso natural (por ejemplo por los servicios de la naturaleza, el valor de no uso del agua, etc.), no se tomaron en cuenta mientras que otros, como la internalización de los costos ya esta relativamente bien implementada.

### 7.1.23 Impuestos y subsidios

**Evaluación:** No evaluado

**Explicación:** No se pudo evaluar por falta de información accesible para la evaluación.

### 7.1.24 Multas, Cargos y premios

**Evaluación:** Cargos (premios) incluidos en el precio de agua (ya que depende del gasto mensual)

**Explicación:** Se evaluó medio el nivel de sustentabilidad en este caso ya que no existen realmente multas, cargos o premios pero existe una forma de parecida de las

mismas incluidas en el precio del agua. En efecto, el que consume el doble de agua ve el precio del agua que paga por m<sup>3</sup> doblar (y al revés).

### **7.1.25 Reglamentación obsoleta**

**Evaluación:** Media

**Explicación:** Se evaluó medio el nivel de sustentabilidad de la reglamentación porque parte de la reglamentación se actualizó pero no toda (por ejemplo, una actualización de la norma NOM 127 SSA/97 (Tabla 2.6) para que este más estricta en cuanto al nivel de calidad deseado del agua potable no sería mal).

### **7.1.26 Protección del acuífero**

**Evaluación:** Baja

**Explicación:** Se evaluó no sustentable la protección del acuífero ya que no existe protección jurídica del mismo por medio de leyes, normas o reglamentos.

### **7.1.27 Procuración de justicia**

**Evaluación:** No evaluado

**Explicación:** No se pudo evaluar por falta de información accesible para la evaluación.

### **7.1.28 Responsabilidad colectiva**

**Evaluación:** Media

**Explicación:** Se evaluó medio el nivel de sustentabilidad debido a que se logró bajar el consumo doméstico diario per cápita y hay contactos entre los ciudadanos y el organismo proveedor (SADM).

## 7.2. Recapitulación

**Tabla 7.2: Indicadores de sustentabilidad para el sistema hídrico del AMM, resultados y nivel de sustentabilidad**

Indicador	Nivel de sustentabilidad
Extracción total	□
Disponibilidad total	□
Crecimiento vs acuífero	□
Uso del agua por sector (sin tomar en cuenta los pozos concedidos por CNA)	□
Aguas pluviales captadas	□
Reuso y reciclaje	□
Reglamentación obsoleta	□
Protección del acuífero	□
Calidad del agua	□(□)
Contaminación del agua	□□
Biodiversidad	□□
Exposición a aguas residuales	□□
Eficiencia y rentabilidad	□□
Solvencia e inversiones	□□
Costo real del agua y servicios	□□
Multas, Cargos y premios	□□
Responsabilidad colectiva	□□
Acceso a agua potable	□□(□)
Consumo diario doméstico per cápita	□□□
Aguas residuales tratadas	□□□
Acceso a servicios sanitarios	□□□
Infecciones	□□□
Concientización	□□□
Ahorro organismo y sociedad	□□□
Participación ciudadana	n.a
Consumo diario per ingresos per cápita	n.a
Impuestos y subsidios	na
Procuración de justicia	na

Nivel de sustentabilidad: □□□□: muy bueno, □□□: correcto, □□: medio, □: malo, na: datos no disponibles para la evaluación

El nivel de sustentabilidad obtenido se encuentra en el nivel C (referirse a la Tabla 7.2). Es decir que tiene una tecnología que satisface estándares mínimos de protección ambiental y metas de salud (sin embargo tiene por ejemplo programas de operación y mantenimiento que se encuentran en el nivel B). Entonces se deben de implementar y mejorar las medidas de sustentabilidad para mejorar este nivel.

Con base a los datos presentados en la Tabla 7.2 y a la información, se clasificaron los resultados por nivel de sustentabilidad, con los cuales se evaluó lo que está en buen camino hacia la sustentabilidad (en general □□□ o □□ o para ciertos □ hablando no del nivel de sustentabilidad sino de los esfuerzos hacia el), lo que obviamente no es sustentable (en general □) y cómo se puede mejorar tanto lo que ya

está en buen camino como lo que no está bien. Esto para permitir determinar las áreas de oportunidad. A continuación se presentan estos resultados:

### **7.2.1 Áreas sustentables o en buen camino hacia la sustentabilidad**

- Iniciativas para reciclar el agua;
- Programas de mantenimiento de la red de distribución y evacuación;
- Programas de medición y reducción de fugas ;
- Programas de concientización de los usuarios;
- Sistema de tarifas (aunque se puede mejorar) ;
- Se abastece casi el 100% de la población en forma continua (pero se debe de poder abastecer toda la población);
- Se trata el 100% de las aguas residuales;
- Sitio web de agua y drenaje: con mucha información y fácil de usar;
- Existe un plan contingente de los usos del agua en periodos de sequía (en el que se prohíben ciertos usos, que se restringen las horas de suministro, entre otros).

### **7.2.2 Áreas no sustentables**

- Crecimiento demográfico;
- Sobre-explotación del acuífero;
- Uso de agua potable para riego, sanitarios y otros procesos cuando se puede usar tratada o de lluvia;
- Sobrecarga de las plantas de tratamiento;
- Reuso del agua no suficiente;
- No se retiene suficiente agua pluvial;
- No hay estructura para recuperar el agua pluvial y evitar que entre al drenaje sanitario;
- No se aplican tarifas o medidas especiales en periodos más secos;
- Impuestos por daño al medioambiente;
- Cargas por descarga de agua residual;
- No existen medidas alternas para el suministro de agua potable en caso de contaminación del acuífero.

Esta clasificación nos permitió identificar las áreas potenciales de oportunidad de mejora. A continuación se presentan propuestas para mejorar la sustentabilidad del sistema gracias a la clasificación por áreas de oportunidad (como mejorar lo que no es

sustentable y lo que sólo está en buen camino hacia la sustentabilidad). Se clasificaron por deseables (ideales pero difíciles de implementar) y alcanzables.

### **7.2.3 Propuestas para mejorar la sustentabilidad**

#### **Deseables**

- Frenar el crecimiento demográfico de la ciudad (por ejemplo, impidiendo que se construyan más casas o industrias);
- Evitar el abatimiento del acuífero (por ejemplo, evitando alterar las áreas relevantes para los procesos de recarga de acuíferos, manteniendo el equilibrio de los ecosistemas circundantes y/o desarrollando las acciones correspondientes para impedir el aprovechamiento no autorizado de los recursos naturales);
- Recolectar y usar las aguas pluviales (por ejemplo, construcción de estructuras para recolectar el agua de lluvia);
- Aumentar y aplicar impuestos por daño al medioambiente;
- Incluir el uso sustentable del agua en los planes de estudios de las escuelas.
- Eliminar las pérdidas de la red.

#### **Alcanzables**

- Monitorear el nivel de los acuíferos de manera constante;
- Promover o/y reglamentar el uso de dispositivos o tecnologías ahorradoras de agua en hogares, escuelas, industrias, etc. (por ejemplo, por medio de subvenciones, incentivos o reducción en los recibos);
- Promover más el uso de agua tratada (por medio de incentivos por ejemplo aumento el costo de las descargas);
- Limitar o suprimir las concesiones para pozos (por ejemplo dejando de otorgar nuevas concesiones);
- Tener un control muy estricto de los pozos controlando las tomas y impidiendo la contaminación;
- Multas para los usos excesivos de agua (por ejemplo establecer un nivel por arriba del cual se tiene que pagar el recibo y una multa adicional lo que incentiva a no tener consumos mensuales muy altos);

- Aumentar las tarifas para llegar a un sistema de tarifas que refleje más el precio real del agua (aumentar las tarifas subsidiando a los más pobres para que tengan acceso al agua);
- Impulsar la investigación y la innovación tecnológica para el tratamiento de las aguas residuales, favoreciendo las técnicas más limpias como las técnicas biológicas. (otorgando por ejemplo becas de investigación);
- Usar más parámetros (hasta ahora sólo se toma en cuenta la DBO<sub>5</sub>) para la determinación de las descargas contaminantes (DQO, metales pesados, coliformes, sales totales,...);
- Crear un plan de contingencia en caso de contaminación del acuífero (parecido al plan de contingencia para periodos de sequía para casos de contaminación importante);
- Reducir la cantidad de fugas a 20% o menos. (por ejemplo, aumentando los esfuerzos en los programas de mantenimiento, medición y reducción de fugas y en la concientización de los usuarios en cuanto a la importancia de reducir las fugas).

### **7.3 Comparación AMM vs Querétaro**

En esta parte se compara la situación del AMM con la de Querétaro [11]. Se puede notar la efectividad del método DSPIR para proveer indicadores permitiendo la comparación con otras ciudades.

Los resultados se presentan en la tabla 7.3. Se puede ver que la situación general en el AMM es más sustentable que la de Querétaro. La presión en el acuífero está más fuerte en Querétaro, no se tratan todas las aguas residuales, las pérdidas en la red son muy importantes. Sin embargo, las iniciativas de reuso del agua y de cultura del agua son implementadas en las dos ciudades.

**Tabla 7.3: Comparación entre Querétaro y AMM**

Indicador	Querétaro	AMM
Extracción total	110 Mm <sup>3</sup> / 77 Mm <sup>3</sup> =142.8% Se estima que a este ritmo en el 2025 se agotará el acuífero	Sobre-explotación Fuentes subterráneas del AMM se tiene 113 hm <sup>3</sup> /92.7 hm <sup>3</sup> = 121.9% y una disponibilidad media anual de -31,6 hm <sup>3</sup>
Crecimiento vs acuífero	790,000 hab/110km <sup>2</sup> =7,182 hab/km <sup>2</sup>	En toda la cuenca Río San Juan: 229230 hab/ 1594 hm <sup>3</sup> = +144 hab/hm <sup>3</sup> Como el consumo promedio por habitante en la cuenca es de 209.4 m <sup>3</sup> , esto da +18.9 m <sup>3</sup> extraído/hm <sup>3</sup> /año
Uso del agua por sector (sin tomar en cuenta los pozos concedidos por CNA para el AMM)	Recarga 77Mm <sup>3</sup> Agrícola: 1,800lps=40% Doméstico: 2,200lps=45% Comercial: 30lps=0.7% Industrial: 450lps=10% Déficit doméstico entre oferta y demanda de 600 lps	Doméstico: 165,272,000 m <sup>3</sup> =71.2% Industrial: 9,089,892 m <sup>3</sup> =12.8% Comercial: 29,666,859 m <sup>3</sup> =3.9%
Aguas pluviales captadas	Drenaje pluvial permite recuperar 33% del agua llovida gracias a infiltraciones, almacenamiento y escurrimiento. El drenaje pluvial consiste en drenes con una longitud de 84 km y 12 bordos con una capacidad de 3Mm <sup>3</sup>	Volumen de agua captado/volumen total llovido: bajo (no hay sistema de captación. Lo que se capta es lo que entra al sistema de drenaje)
Aguas residuales tratadas	57.3%	100% (después de la construcción de las plantas)
Acceso a servicios sanitarios	98%	91%
Concientización	Distribución de boletines semanales, platicas en escuelas, visitas a instalaciones. 12,876 escolares participantes, 29,000 folletos distribuidos	23 empleados + estudiantes voluntarios, 2 stands permanentes, 15 programas diferentes de concientización, dirigido a todos.
Reuso y reciclaje	432lps o aproximadamente 10%	881 lps o aproximadamente 10%
Eficiencia y	47% de fugas	25 % de fugas

Indicador	Querétaro	AMM
rentabilidad		

Fuente: [11]

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 Conclusiones

#### 8.1.1 Conclusiones de esta investigación

Uno de los mayores problemas encontrados para la evaluación fue en la recolección de datos (disponibilidad y calidad). La no disponibilidad de datos tiene como consecuencia dejar de lado algunos indicadores que se consideran importantes tales como los consumos por sectores geográficos, los consumos por sector doméstico, los consumos por ingresos, la sobreexplotación del agua en el AMM, los consumos por sector en comparación con la extracción del agua, etc. La mayor parte de los indicadores físicos (extracción, recarga, etc.) sólo se pudieron evaluar a nivel de cuenca lo que disminuye su relevancia (necesidad de encontrar datos para el AMM).

La metodología se apoyó en el método DSPIR, recomendado en general para este tipo de investigación, y en la aplicación de este método a la ciudad de Querétaro por la Cooperación Científica México-Suecia en su estudio sobre *Sistemas Hídricos Sustentables: Estudio para la ciudad de Querétaro y sus alrededores*. Esta metodología nos ofrece una gran disposición de indicadores. En el presente caso se utilizaron los indicadores más relevantes para el estudio de la gestión del agua en su uso doméstico en el AMM con los datos que se tenían. Los indicadores se evaluaron con el mismo peso y se redujeron en número a fin de disminuir el tiempo del estudio. La evaluación se basó en los datos obtenidos y pudo resultar subjetiva en algunos indicadores cualitativos ya que no se pudieron consultar expertos en cada área, como por ejemplo el indicador de Biodiversidad.

El estudio, aunque menos completo que el estudio realizado en Querétaro, produce resultados interesantes; además, permite una comparación entre las 2 ciudades que nos permite deducir que el AMM tiene un mayor nivel de sustentabilidad (a parte del problema de tasa de crecimiento de la población). En

efecto, Querétaro tiene muchos problemas de contaminación de agua, de exposición a aguas negras, entre otros problemas que son menores en el AMM.

En resumen, la metodología está bien ya que nos permitió llegar a los resultados deseados, además de permitir comparaciones con otras ciudades o países.

Los resultados de esta tesis muestran que el AMM está en camino hacia un uso sustentable del agua porque ya implemento muchas de las acciones que a largo plazo deberían de ir en este sentido.

Se registraron los resultados de las acciones implementadas en el AMM y vio cómo se podía mejorar de manera general el programa. Para apoyar el análisis de sustentabilidad, los resultados se enlazan con conclusiones en 3 rubros, como se abordó en la introducción: social / económico / ambiental. A continuación se clasificaron por rubro donde tienen mayor impacto aunque en general los resultados tienen impactos en los otros 2 rubros.

□ Social

- ✓ La tasa anual de crecimiento de la población es aproximadamente de 2-3%;
- ✓ La sensibilización de los consumidores se hace de muchas maneras y demostró su eficiencia en sensibilizar a la gente en cuanto a la importancia del agua y a las maneras de usarla de manera sustentable;
- ✓ Sería conveniente establecer restricciones de uso, a nivel de reglamentación, a fin de regular el consumo de agua en los periodos de estiaje (sin que sean periodos de sequía para los que existe un plan de contingencia);
- ✓ No hay muchos casos de enfermedades relacionadas con el agua;
- ✓ Buen acceso a agua potable y a servicios sanitarios (94% y 91%);
- ✓ Existen buenos programas de concientización (por parte de SADM) y una responsabilidad colectiva media;
- ✓ Existe una exposición media a aguas residuales (debido a la contaminación del Río Pesquería por ejemplo);
- ✓ Parte de la reglamentación es obsoleta o inapropiada.

□Económico

- ✓ En cuanto a la reducción de los contaminantes, se necesita implementar medidas para incentivar a la gente y a las empresas a contaminar menos el agua;
- ✓ El precio del agua toma en cuenta muchos parámetros que no se toman en cuenta en otras ciudades, pero no toma en cuenta todos los costos implicados (como el costo ambiental por ejemplo) ni los periodos de sequías y por lo tanto no es el precio “sustentable del agua”;
- ✓ No hay un sistema de multas, cargos o premios a parte de los incluidos en la tarifa del agua (ya que esta última aumenta con el consumo de agua);
- ✓ No se recupera el agua de lluvia y habría que estudiar la posibilidad de implementar un sistema que lo permita. En efecto esta agua se puede usar en muchas operaciones que no necesitan potabilización;
- ✓ El sistema proveedor de agua es relativamente eficiente y rentable.

□Ambiental

- ✓ La disponibilidad total del agua es muy baja;
- ✓ El acuífero está sobre-explotado y no existen leyes para su protección.
- ✓ El 100% de las aguas residuales (que llega a la planta de tratamiento -no se incluyen las fugas-) se trata en el AMM;
- ✓ Existe un programa también de reuso del agua. Sin embargo, se puede mejorar la cantidad de agua tratada reusada por una campaña en las empresas (ya que el nivel de reuso no es suficiente);
- ✓ Respecto al volumen de agua no contabilizada, disminuyó de 37% a 25% de 1998 a 2002. Sin embargo, un nivel considerado como aceptable sería el de 15-20% por lo que se necesita mejorar el sistema;
- ✓ La calidad del agua potable está dentro de la norma NOM-127-SSA/97 y hay contaminación de las fuentes superficiales de agua (principalmente del Río Pesquería);
- ✓ La biodiversidad se ve amenazada por los problemas de contaminación y la región Río Bravo/ Río San Juan forma parte de las regiones hidrológicas prioritarias.

Se pueden implementar medidas suplementarias para llegar a la sustentabilidad y mejorar las que ya están implementadas. Y para precisar, lo más importante es

impulsar nuevas células de crecimiento urbano (polos de desarrollo) en otras áreas donde sea sustentable para asegurar una mejor calidad de vida en la población y reducir la sobre-explotación del acuífero con presión económica y regulación porque, de lo contrario, las medidas implementadas no lograrán alcanzar la sustentabilidad sino que simplemente retardarán el agotamiento del recurso.

A través de los resultados de esta tesis, se obtuvo un entendimiento del sistema de gestión y una visión global del nivel de sustentabilidad del agua para uso doméstico en el área metropolitana de Monterrey, por lo tanto se cumplió con los objetivos planteados al principio del trabajo.

### **8.1.2 Conclusiones generales**

El agua dulce en el mundo tiene una importancia económica, social y ambiental en busca de la sustentabilidad debido a que es importante para la vida. No sólo es el “líquido vital”, tan necesario para todos los seres humanos sino que también lo es para todos los seres vivos y para el equilibrio del medio ambiente.

Sin embargo en el mundo el uso del agua en general no es sustentable. Esto se debe principalmente al crecimiento de la población, a un uso no concientizado del agua (poca conciencia y participación ciudadana), la sobre-explotación de las fuentes locales de abastecimiento, el uso de tecnologías con alto consumo de agua en los servicios domésticos y procesos industriales, la degradación de la calidad del agua subterránea debido a una explotación irracional de los acuíferos, la contaminación de las aguas superficiales debida a las descargas de aguas residuales municipales e industriales y agrícolas, un precio del agua que no refleja su valor real lo que resulta en un sistema ineficiente de facturación (incluyendo los altos costos de captación y conducción de agua), las pérdidas en la red, un control inadecuado de lo que se entrega a los usuarios, una reutilización y recirculación del agua no suficiente para los usos que no requieren la calidad de agua potable.

En el AMM, los problemas que se presentan son los mismos que presentados en la sección anterior con diferentes niveles de importancia.

## **8.2 Recomendaciones**

### **8.2.1 Recomendaciones acerca de futuros estudios**

Esta investigación es una introducción al estudio de sustentabilidad del agua sentando las bases y marcos de referencia para motivar estudios más detallados en la misma línea de investigación.

Por ejemplo, se podría:

- incorporar los sectores industrial y comercial al estudio;
- estudiar con más detalle el nivel de sustentabilidad de la gestión de agua en las diferentes industrias del AMM;
- mejorar el desglose de los usos domésticos;
- completar el estudio con los datos de los consumos de los pozos concedidos por CNA;
- relacionar los consumos de agua con los ingresos de los usuarios;
- analizar las áreas de oportunidad de mejora y las propuestas de mejora (ya que esta investigación se limitó a mencionarlas) para ver su factibilidad técnica y económica así como su eficiencia con el fin de implementarlas si es satisfactorio;
- dar un valor cuantitativo a los indicadores cualitativos que se tienen a fin de permitir más fácilmente la comparación con diferentes regiones;
- investigar la validez de la evaluación de los indicadores por medio de un consenso con expertos de cada área (por ejemplo, un biólogo para el indicador de biodiversidad);
- conocer el impacto de la campaña de cultura del agua;
- estudiar la calidad del agua subterránea;
- estudiar la importancia del consumo de agua por los lavados de autos en su impacto en el consumo total de agua;
- etc.

Cada uno de estos estudios puede constituir una tesis en sí (o hasta varias tesis según el nivel de profundización que se requiere).

### 8.2.2 Recomendaciones acerca de los datos

Esta investigación se enfrentó al problema de disponibilidad de los datos. Por esta razón, se recomienda medir los parámetros previamente mencionados que limitaron el alcance de esta investigación a fin de mejorar la calidad de los indicadores así como de la evaluación del nivel de sustentabilidad. Es deseable conocer:

- los consumos de agua domésticos en el AMM según el uso (aseo, sanitarios, cocina, etc.);
- los consumos de agua según los ingresos de las familias;
- la recarga de las fuentes subterráneas del AMM;
- la frecuencia (el número) de contactos de los ciudadanos del AMM con SADM o CNA;
- la eficiencia de las campañas del agua en los ciudadanos (si aplican lo que les fue enseñado o no) ;
- la contaminación de las aguas subterráneas;
- los consumos de agua por sector geográfico (para saber en dónde enfocar prioritariamente las medidas) ;
- el número de delitos consignados en materia de agua en relación al total;
- el volumen de agua pluvial captado;
- etc.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1]American Ground Water Trust.2004 (sitio web) <http://www.agwt.org/index.htm>
- [2]Arreguín Cortés, Felipe I. *NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE EQUIPOS DOMÉSTICOS DE CONSUMO DE AGUA. TEMA: USO EFICIENTE DEL AGUA BLOQUE 2: TECNOLOGÍA Y CASOS EXITOSOS DEL LADO DE LA DEMANDA.* (sitio web) [http://www.watery.org/activities/countries/mexico/CNA\\_USO\\_EFICIENTE\\_DEL\\_AGUA1jald\\_eemo.pdf](http://www.watery.org/activities/countries/mexico/CNA_USO_EFICIENTE_DEL_AGUA1jald_eemo.pdf)
- [3]G. Bergkamp, J-Y. Pirot, M. Acreman. *Optimization of Water Ressources Management Through Maintaining the Functionings of Ecosystems.* IUCN, The World Conservation Union. (sitio web) <http://www.oieau.fr/ciedd/contributions/at3/contribution/uicn.htm>
- [4]CALIFORNIA URBAN WATER CONSERVATION COUNCIL. 2002. *H2OUSE* (sitio web) <http://h2ouse.org/>
- [5]Campos López, Jesús. 2003. *La importancia de la eficiencia en la gestión del agua.* REVISTA AQUA FORUM No. 33 Julio-Septiembre 2003
- [6]CITIUS. 2004. *Monterrey y área metropolitana.* (sitio web) [http://www.citiuscapital.com/espanol/presentacion\\_mty\\_espaniol.pdf](http://www.citiuscapital.com/espanol/presentacion_mty_espaniol.pdf)
- [7]CNA. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. (Sitio web) [http://www.cna.gob.mx/publicaciones/PNH0106/El\\_agua\\_recurso\\_4.pdf](http://www.cna.gob.mx/publicaciones/PNH0106/El_agua_recurso_4.pdf)
- [8]Comisión Nacional del Agua. 2004. *Estadísticas del Agua en México, 2003 /* Comisión Nacional del Agua-México, 2003 (sitio web) <http://www.cna.gob.mx>
- [9]CONABIO. 2004. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. (Sitio web) <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hlistado.html>
- [10]Consejo Nacional de Población. 2000. *Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades, 1995-2050.* Edición de septiembre2000/ Consejo Nacional de Población.
- [11]Cooperación Científica México-Suecia con el apoyo de Chalmers y la fundación STINT. 2003. *Sistemas Hídricos Sustentables: Estudio para la ciudad de Querétaro y sus alrededores.* Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. Octubre 2002-marzo 2003.
- [12]J.m. Dalhuisen, H.L.F. de Groot, C.A. Rodenburg and P. Nijkamp *Economic Aspects of Sustainable Water Use* (sitio web) <http://www.feweb.vu.nl/re/regional/metron/metrondocs/Economics.pdf>
- [13]Data Nuevo León. 2004. (Sitio web) <http://www.data.nl.gob.mx/>
- [14]Dirección de estudios económicos. Secretaria de desarrollo económico. Gobierno del Estado de Nuevo León. 2004. *La actividad económica en el área metropolitana de Monterrey.* (documento disponible en el sitio web <http://www.data.nl.gob.mx/> )
- [15]Eurostat, 2001 (sitio web) <http://lub-dude.lub.lu.se/lubaser/eurostat-yb.htm/>
- [16]IFEN, 2004. (sitio web) <http://www.ifen.fr/> (revisado mayo de 2004)
- [17]IMTA. 2002. *Manejo integrado del agua en la cuenca del Río Bravo.* Octubre 2002. Sitio web: <http://cig.uacj.mx/Granados/maestIngAmb/Hidalgo/modelaciondinamicacuencabravo.ppt>

- [18]INEGI. 2004. (sitio web) <http://nl.inegi.com.mx/>
- [19]Izquierdo Cruz, Cristian. 2003. "Tecnologías de Bajo Consumo en Usuarios Domésticos y Comerciales". Seminario: Uso Eficiente de Energía y Agua en Organismos Operadores de Agua y Saneamiento. Boca del Río, Veracruz, 10 de Diciembre de 2003.
- [20]A. García Abril, M<sup>a</sup>.A.Grande, S. Martín Fernández y E. Martínez Falero. *Participación Pública en tomas de decisiones relacionadas con procesos ambientales*. Universidad Politécnica de Madrid. (accesible en el sitio web: <http://www.upm.es> )
- [21]García Orozco, Jorge. 2003-2004. *Entrevistas personales en su oficina en el itesm-Campus Monterrey. Centro de calidad ambiental*.
- [22]Gobierno del estado de Nuevo León, 2003. *Plan Estatal de Desarrollo Urbano y Comunicaciones*. (sitio web) <http://www.sedesol.gob.mx/subsecretarias/desarrollourbano/ordonez/estados/nuevo%20leon/PLAN%20ESTATAL%20DE%20DESARROLLO.PDF>
- [23]Harremoes, Pool. 1997. *Integrated Water and Waste Management*. Edición de noviembre de 1997. Water Science& Technology. Volumen 35, Número 9, pp 11-20.
- [24]T.A. Larsen, W. Gujer, 1997. *The concept of sustainable Water Management*. Edición de noviembre de 1997. Volumen 35, Número 9, pp 3-10. Water Science& Technology.
- [25]L'eau en danger, Mémoire sur la pollution de l'eau. 2003 (sitio web) <http://membres.lycos.fr/such/eau.html>
- [26]LENNTECH. 2004. (sitio web) <http://www.lenntech.com>
- [27] Maarten Siebel, A. & Gijzen, Huub J., 2002. Environmental technology and management seminar 2002. *Application of Cleaner Production concepts in Urban Water Management*. Bandung, Indonesia, January 9&10.
- [28] Maarten Siebel, A y García Orozco, Jorge H., 2003. *Environmental impacts of using water for human purposes*. EU Project-Sustain water. Unesco, IHE, DELFT, The Netherlands. June, 2003.
- [29]Martínez Muñoz, Alfonso; Cantú Silva, Israel; Aranda Ramos, Rafael. 2003 *El medio ambiente y los recursos naturales en Nuevo León*, Enero-Marzo 2003, VOL. VI, No. 1, CIENCIA UANL.
- [30]Municipio de Monterrey. 2004. (sitio web) <http://www.monterrey.gob.mx/>
- [31]Noriega Crespo, Pilar, 2002. *Cada vez mas agua, cada vez mas lejos, cada vez mas profundo*, Edición de Abril 2002, CEE | Boletín Interacción.
- [32]PNUMA, 2001. *Informe sobre los Indicadores Ambientales y de la Sustentabilidad en América Latina y el Caribe*. UNEP/LAC-IG.XIII/Inf.4. Septiembre de 2001.
- [33]PONTIFICA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE. 2004. (Sitio web) <http://www.puc.cl/quimica/agua/potabiliz.htm>
- [34]QUID, 2000. *L'eau en France*. (sitio web) <http://www.quid.fr>
- [35]Romo Tijerina, Nelida, 1995. *Estimación de las emisiones a la atmósfera por quema de combustibles en el Área Metropolitana de Monterrey*, México, N.L., Monterrey, Edición Abril de 1995.
- [36]Secretaría de Salud, Anuario Estadístico del 2001. (Tabla disponible en el sitio web: <http://hispagua.cedex.es/Grupo1/Documentos/unesco/graficos2.xls> )
- [37]SEMARNAT (SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 2004. (sitio web) <http://www.semarnat.gob.mx/nl/>

- [38]SEMARNAT. 2004. *Disponibilidad del Agua*. (Sitio web) [http://carpetas.semarnat.gob.mx/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/04\\_Agua/4.4\\_Disponibilidad/index.shtml](http://carpetas.semarnat.gob.mx/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.4_Disponibilidad/index.shtml)
- [39]SEMARNAT. 67 recomendaciones para ahorrar agua. (sitio web) <http://carpetas.semarnat.gob.mx/veracruz/67recomendaciones.shtml>
- [40]Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey. 2004. (sitio web <http://www.sadm.gob.mx> y entrevistas con el Ing. Cantú Ramos, F director de operación; Ing. Sáenz Esparza, F gerente de operación; Ing. Contreras Rdz, JL dirección de saneamiento. 10 de marzo y 1 de abril del 2004)
- [41]Sistema de información Empresarial Mexicano, SIEM. 2004. (sitio web) <http://www.siem.gob.mx>
- [42]SYNDICAT INTERCOMMUNAL D'ASSAINISSEMENT DE LA RÉGION DE LAGNY-SUR-MARNE. 2004. (sitio web) <http://www.siarl.fr/index.htm>
- [43]Unesco. 2000, *World Day for Water*. (sitio web) [http://www.unesco.org/science/waterday2000/index\\_2.htm](http://www.unesco.org/science/waterday2000/index_2.htm)
- [44]UNESCO, 2003. *Water for people. Water for life. The united nations world water report*.
- [45]Unit for Sustainable Development and Environment - Organization of American States. 2003. (sitio web) <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea23s/ch15.htm>
- [46]Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, 2003. *SE NOS ACABA EL AGUA. ¿AHORA QUÉ? Una controversia sobre el agua en la ciudad moderna*. (sitio web) <http://tecnologiaysociedad.uniandes.edu.co/html/agua/a11.html>
- [47]Universidad de Navarra. 2004. (sitio web) <http://www1.ceit.es/>
- [48]O. Varis, L. Somlyódy, 1997. *Global urbanization and urban water: Can sustainability be afforded?*. Edición de noviembre de 1997. Volumen 35, Número 9, pp 21-32. *Water Science & Technology*.
- [49]VIDA SOSTENIBLE. 2004. (sitio web) <http://www.vidasostenible.com>
- [50]Water Environment Federation *Clean Water for Today: What is Wastewater Treatment?* (sitio web) <http://www.wef.org/pdffiles/WastewaterTreatment9-12.pdf>
- [51]WEF. 2004. (sitio web) <http://www.wef.org/pdffiles/HistoriaDeLasAguasSpanish.pdf>

# APÉNDICES

## *Apéndice 1: Área Metropolitana de Monterrey*



Fuente: [6]

**Figura A.1: Mapa del Estado de Nuevo León**

## Apéndice 2: Cultura del agua

### Campañas escolares

Las campañas escolares tienen un objetivo muy importante a largo plazo ya que los niños a los que se enseña el cuidado y buen uso del agua serán los futuros usuarios de esta agua. Además, es algo reconocido que los niños son más abiertos a este tipo de enseñanza. Se emplean varias técnicas para llegar al objetivo, las cuales se presentan a continuación.

#### ✓ **Pláticas escolares**

Se sensibilizan de esta manera los niños de los niveles básicos de educación y se les da un regalito como motivación al final de la plática. En el 2002, 121,976 alumnos escucharon las pláticas en 464 escuelas de educación básica.

#### ✓ **Visitas a instalaciones hidráulicas**

Estas visitas permiten al alumno ver de manera concreta como se trata el agua en las plantas de tratamiento.

#### ✓ **Stands permanentes**

Existen dos stands: Parque Niños Héroes y la Pastora. Tienen el mismo objetivo que las pláticas escolares. En el 2002, 40,459 alumnos visitaron los stands.

#### ✓ **Concursos escolares**

Para preparar el día Mundial del Agua, se organizan concursos como escribir obras de teatro, historias y campañas para cuidar el agua. La premiación es un incentivo para los escolares.

Por ejemplo en el 2002-2003, hubo 3 concursos:

- ✓ Canto y Actuación
- ✓ Mi Historieta del Agua
- ✓ Mi campaña para cuidar el Agua

Se muestra una sensibilización efectiva de los alumnos que participan en los resultados de las participaciones y de la calidad de los trabajos.

#### ✓ **Diplomados en secretaria de educación**

Permite formar los maestros para que ellos mismos en sus clases transmitan la cultura del agua a sus alumnos.

#### ✓ **Guardianes del agua**

Se da información a los alumnos sobre los consumos de agua y ellos se fijan metas para ahorrar agua durante el ciclo escolar. Actualmente el programa cuenta con 9,084 alumnos (en 775 comités).

#### ✓ **Exposiciones**

Se participa cada año en exposiciones para hacer llegar la información a miles de escolares que las visitan. Por ejemplo, se participo con la Sub-secretaría de Ecología en la "Expo-Feria del Reciclaje, y Día Mundial del Medio Ambiente.

### **Pláticas institucionales**

Como se ha visto antes, es muy importante sensibilizar a los niños ya que representan los futuros usuarios. Sin embargo, no es una razón para que los usuarios actuales estén olvidados. Hacia ellos se dirigen estas pláticas institucionales. Con este objetivo, se implementan varias técnicas:

#### ✓ **Conferencias**

Estas conferencias se dirigen a las empresas públicas y privadas e instituciones educativas y sociales. Los temas que se tratan son la cultura del agua (disponibilidad del agua, condiciones en el estado de Nuevo León, fuentes de abastecimiento, consumo promedio doméstico, etc.) y el saneamiento (contaminación del agua, función de las plantas de tratamiento, procesos de tratamiento, etc.)

#### ✓ **Visitas a instalación hidráulicas**

Estas visitas tienen como objetivo dar a conocer los esfuerzos y la magnitud de las obras que el gobierno y la empresa realizan para abastecimiento de agua y realizar su tratamiento.

#### ✓ **Publicación en revistas externas**

Se incluyen mensajes y artículos informativos en los órganos internos de comunicación, las revistas, los boletines, los periódicos y correo electrónico en empresas públicas, privadas, instituciones educativas y sociales.

#### ✓ **Publicidad en empaques y periódicos**

Se publican frases referentes al tema de la importancia de cuidar al agua en los empaques de los productos.

#### ✓ **Programa certificación a empresas**

Para disminuir sus consumos en un 20% se aplica un cuestionario-estadística a la empresa para controlar sus consumos. Se forman equipos de trabajo (10 personas) en la empresa quienes cuidaran y revisaran las instalaciones hidráulicas de la empresa y devolverán el cuestionario al cabo de dos meses. La empresa se compromete a reparar fugas, capacitar personal, llevar acciones a fin de tener una buena Cultura del Agua.

#### ✓ **Programa institucional**

Más de 520 empresas del Área Metropolitana pertenecen a este programa, llevando a cabo diferentes acciones para enseñar la Cultura del Agua y el saneamiento a su personal a través de presentaciones personales (conferencias), exposiciones, campamentos de verano y medios impresos.

#### ✓ **Eventos**

Se participan a diferentes eventos como seminarios, convenciones, exposiciones del Día Mundial del Medio Ambiente, foros de Ecología, mes de la Seguridad e Higiene en empresas de la localidad, día del agua, entre otros...

### **Campaña anual de verano**

Como se ha visto en los capítulos anteriores, el AMM tiene periodos de gran calor en el que la necesidad del agua se hace mas grande a pesar de que su disponibilidad este reducida. Por esta razón, en los meses de Junio a Septiembre, se lleva a cabo una campaña para favorecer un uso eficiente del agua. Para llegar a más gente, se emplean muchos medios de comunicación como prensa, radio, televisión, carteleras, unipolares, espectaculares, folletería y otros materiales impresos y promocionales.

### Apéndice 3: Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. Artículo 2o.

**Artículo 2o.** Para los efectos de este "Reglamento", se entiende por:

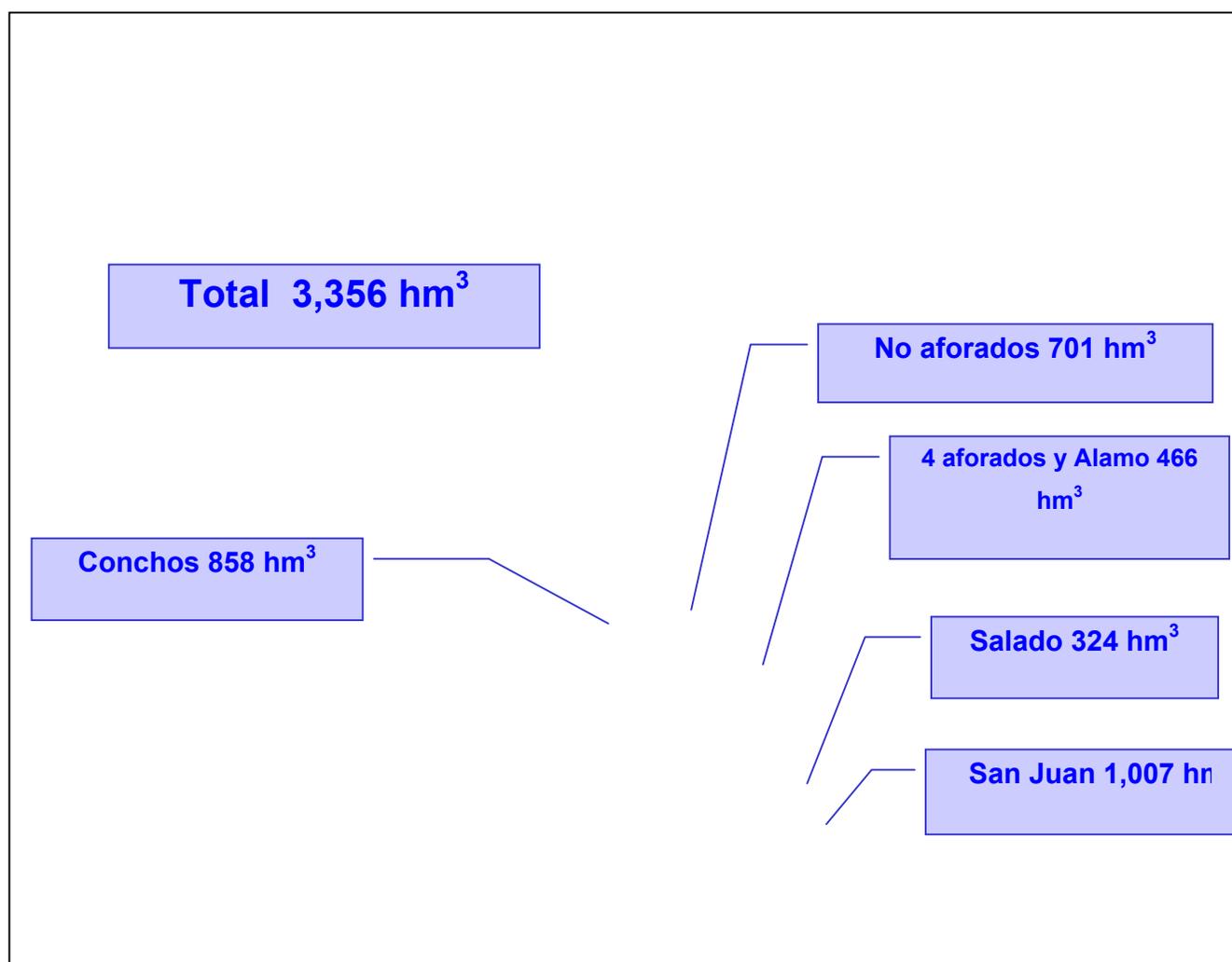
- I.** Aguas continentales: las aguas nacionales, superficiales o del subsuelo, en la parte continental del territorio nacional;
- II.** Aguas residuales: las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier otro uso;
- III.** Barranca profunda: hendedura pronunciada que se forma en el terreno, por el flujo natural del agua, en que la profundidad es mayor a 5 veces la anchura;
- IV.** Condiciones particulares de descarga: el conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por "La Comisión" para un usuario, para un determinado uso o grupo de usuarios o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la "Ley" y este "Reglamento";
- V.** Corriente permanente: la que tiene un escurrimiento superficial que no se interrumpe en ninguna época del año, desde donde principia hasta su desembocadura;
- VI.** Corriente intermitente: la que solamente en alguna época del año tiene escurrimiento superficial;
- VII.** Cuerpo receptor: la corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos;
- VIII.** Cuota natural de renovación de las aguas: el volumen de agua renovable anualmente en una cuenca o acuífero;
- IX.** Demarcación de cauce y zona federal: trabajos topográficos para señalar físicamente con estacas o mojoneeras en el terreno, la anchura del cauce o vaso y su zona federal;
- X.** Desarrollo integral sustentable: el manejo de los recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de tal manera que asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras;
- XI.** Descarga: la acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor;
- XII.** Humedales: las zonas de transición entre los sistemas hídricos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos, originadas por la descarga natural de acuíferos;
- XIII.** Infraestructura hidráulica federal: las obras de infraestructura hidráulica a que se refiere la fracción VII, del artículo 113 de la "Ley", así como las demás obras, instalaciones, construcciones y, en general, los inmuebles que estén destinados a la prestación de servicios hidráulicos a cargo de la Federación;
- XIV.** Lago o Laguna: el vaso de propiedad federal de formación natural que es alimentado por corriente superficial o aguas subterráneas o pluviales, independientemente que dé o no origen a otra corriente, así como el vaso de formación artificial que se origina por la construcción de una presa;
- XV.** Servicios hidráulicos federales: los servicios de riego y drenaje agrícolas, de suministro de agua en bloque a centros de población, de generación de energía hidroeléctrica en los términos de la ley aplicable, de tratamiento de agua residual, y otros servicios, cuando para la prestación de los mismos se utilice infraestructura hidráulica federal;
- XVI.** Uso agrícola: la utilización de agua nacional destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial;
- XVII.** Uso agroindustrial: la utilización de agua nacional para la actividad de transformación industrial de los productos agrícolas y pecuarios;
- XVIII.** Uso doméstico: para efectos del artículo 3o., fracción XI de la "Ley", la utilización de agua nacional destinada al uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de sus árboles de ornato, incluyendo el abrevadero de sus animales domésticos que no constituya una actividad lucrativa;
- XIX.** Uso en acuicultura: la utilización de agua nacional destinada al cultivo, reproducción y desarrollo de cualquier especie de la fauna y flora acuáticas;
- XX.** Uso en servicios: la utilización de agua nacional para servicios distintos de los señalados en las fracciones XVI a XXV, de este artículo;
- XXI.** Uso industrial: la utilización de agua nacional en fábricas o empresas que realicen la extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como la que se utiliza en parques industriales, en calderas, en dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aún en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación;
- XXII.** Uso para conservación ecológica: el caudal mínimo en una corriente o el volumen mínimo en cuerpos receptores o embalses, que deben conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema;
- XXIII.** Uso pecuario: la utilización de agua nacional para la actividad consistente en la cría y engorda de ganado, aves de corral y animales, y su preparación para la primera enajenación, siempre que no comprendan la transformación industrial;
- XXIV.** Uso público urbano: la utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, a través de la red municipal, y
- XXV.** Usos múltiples: la utilización de agua nacional aprovechada en más de uno de los usos definidos en la "Ley" y el presente "Reglamento", salvo el uso para conservación ecológica, el cual está implícito en todos los aprovechamientos.

## Apéndice 4: Climatología e Hidrología

### Tabla A.1: Climatología

Regiones ecológicas
<b>A) Región árida:</b> Se caracteriza por tener climas de tipo seco semicálido y el seco templado, con precipitaciones escasas de 350 mm, erráticas y mal distribuidas de tipo torrencial y una temperatura media anual mayor de 22°C, con suelos con poca cantidad de materia orgánica, la vegetación está compuesta principalmente por matorrales medianos, inermes, crasulifolios y pastos nativos amacollados, medianos y halófitos, su aprovechamiento es ganadero con una superficie de 1'660,291 has.
<b>B) Región semiárida:</b> se caracteriza por tener mala distribución de la precipitación y períodos escasos de lluvias, con una precipitación de 350 a 600 mm anuales y una temperatura media anual mayor de 18°C, con bajas temperaturas en invierno y muy calurosas en verano, predomina la vegetación arbórea y arbustiva, matorrales y bosques de mezquite, algunas áreas presentan agrupaciones de halófitos y pastos halófitos, su aprovechamiento es la ganadería con una extensión de 3'905,809 has.
<b>C) Región templada:</b> se caracteriza por tener el clima de tipo templado subhúmedo c(wo)1 y semiseco templado bs1, con una precipitación promedio anual mayor a 500 mm y una temperatura media anual de 12°C a 18°C, su fisiografía está conformada por sierras, mesetas y escarpadas con pendientes mayores al 70%, su vegetación se caracteriza por bosques, dominada por diversas arbóreas de pinos y encinos, su aprovechamiento es ganadero y forestal, con una extensión de 889,400 has.

Fuente: Data Nuevo León [13]



Fuente: IMTA[17]

### Figura A.2: Escurrimientos en la cuenca Rio Bravo

## ***Apéndice 5: Explotación de los acuíferos de la región Río Bravo***

Fuente: IMTA[43]

**Figura A.3 Explotación de los acuíferos de la región Río Bravo**

## ***Apéndice 6: Abasto por fuente***

**Tabla A.2: Abasto por fuente**

Fuente: SADM[40]

---

***Apéndice 7: Drenaje/Tratamiento de aguas residuales***

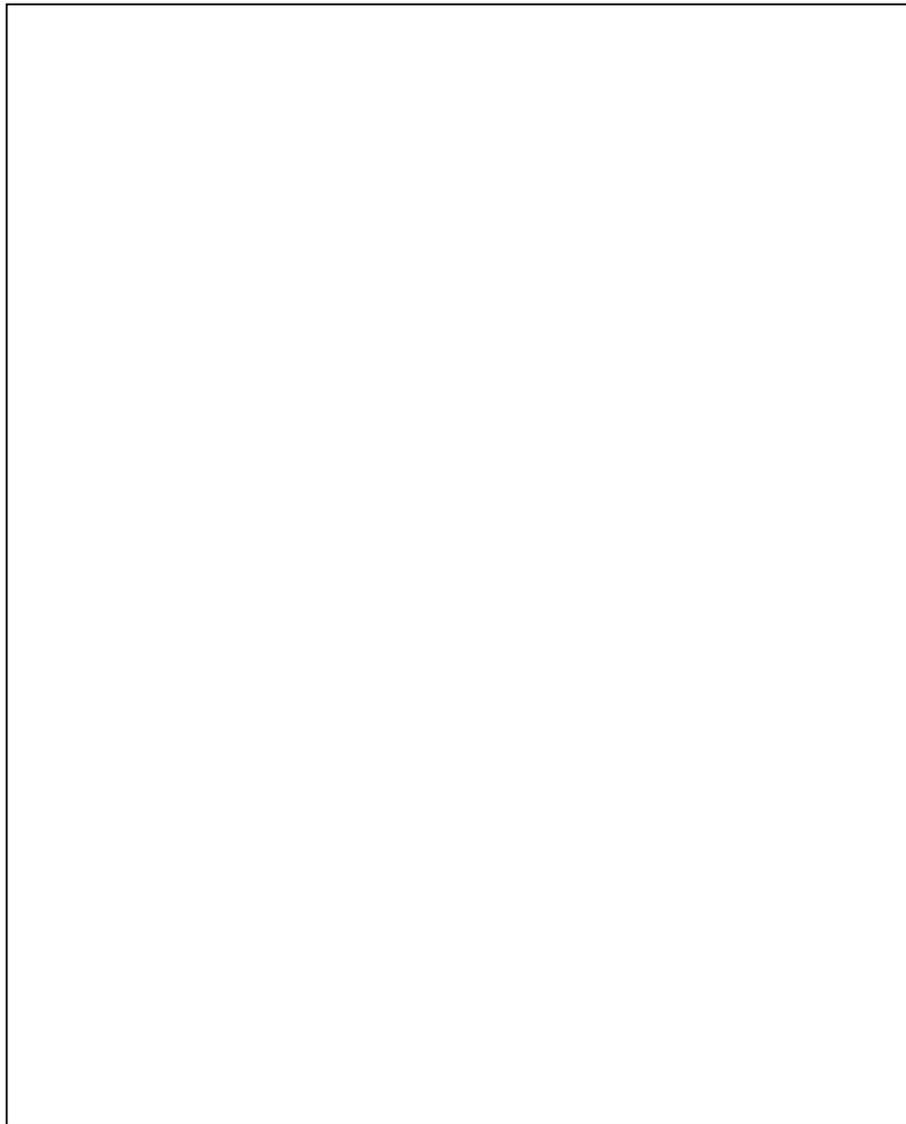
**Tabla A.3: Tarifas para descargas al drenaje, uso o aprovechamiento de aguas residuales y para agua no potable en marzo del 2004**

Fuente : SADM [40]

---

**Tabla A.4: Gastos por entidad federal**

Fuente : CNA [8]



Fuente: Lenntech [26]

**Figura A.4: Tratamiento de efluentes**

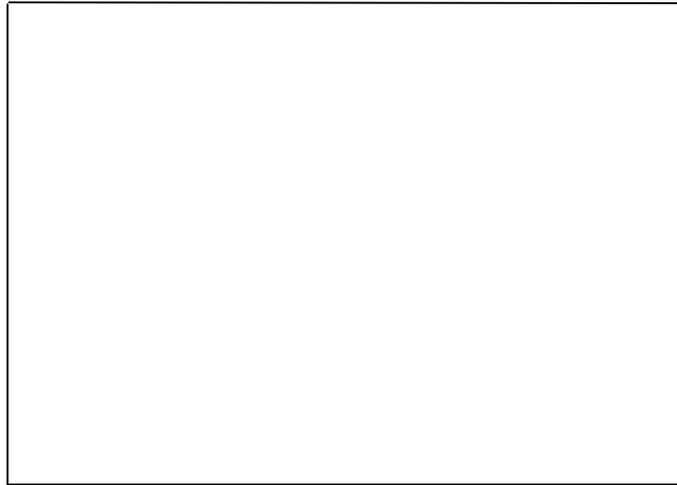
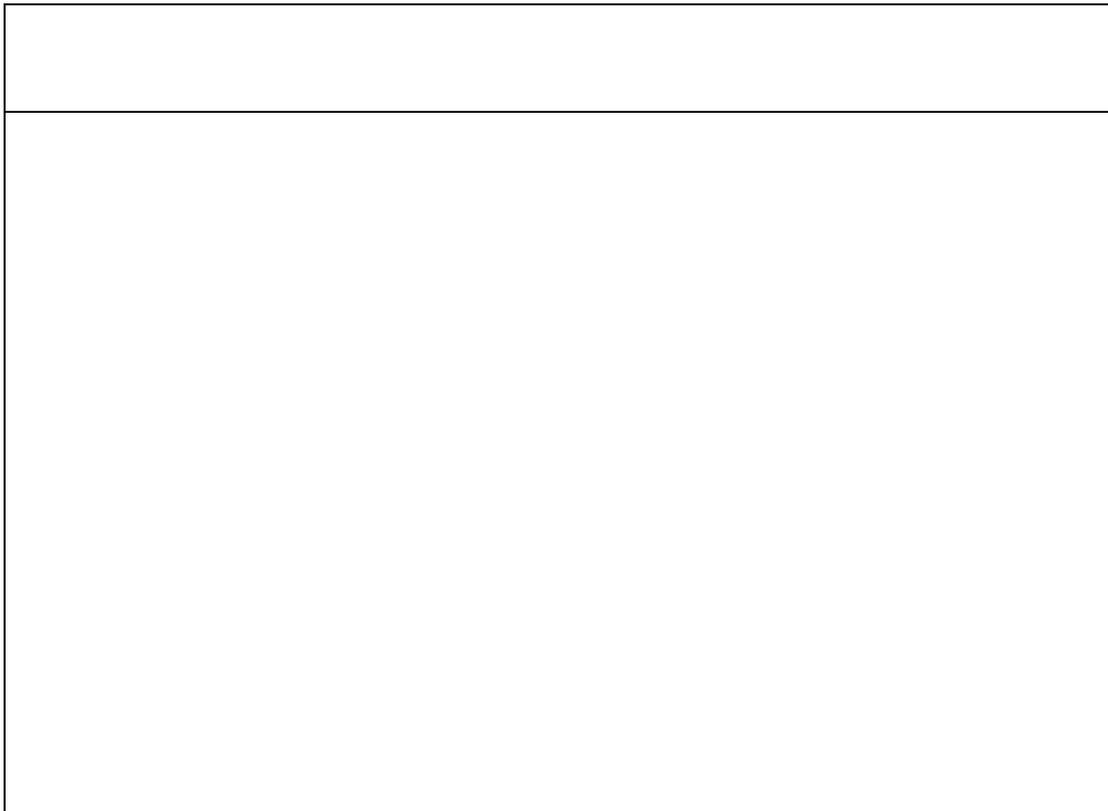
***Apéndice 8: Reuso del agua***

**Tabla A.5: Reuso del agua/Plantas de tratamiento**

Fuente: SADM[40]

## Apéndice 9: Marco legal

- ✓ Constitución Política de Nuevo León.
- ✓ Ley que Crea la Institución Pública Descentralizada "SADM".
- ✓ Ley de Agua Potable y Saneamiento para el estado de Nuevo León.
- ✓ Ley de Obras Públicas Para el Estado y Municipios de Nuevo León.
- ✓ Ley de la Contaduría Mayor de Hacienda del Estado de Nuevo León.
- ✓ Ley Orgánica de la Administración Pública para el Estado de Nuevo León.
- ✓ Ley de Administración Financiera para el Estado de Nuevo León.
- ✓ Acuerdo que crea la comisión Agua Potable y Drenaje de Monterrey.
- ✓ Reglamento Interior de Trabajo.
- ✓ Contrato Colectivo 2002 - 2004.
- ✓ Reglamento para la prestación de los Servicios de Agua y Drenaje, publicado en el Periódico Oficial en fecha 24 de Agosto de 1966, en el cual se establece entre otros:
- ✓ Decreto número 61 publicado en el Periódico Oficial de fecha 16 de Junio de 1995, relativo a la reforma de los artículos 2º y 15 del Decreto 41 publicado en el Periódico Oficial en fecha 9 de Mayo de 1956, estableciéndose:
- ✓ Ley en función de ordenamiento reglamentario del artículo 30 de la Constitución Política del Estado de Nuevo Len, en materia de prestación de servicios, dentro de la cual se prevé entre otros:
  - ✓ Acuerdo de Cuotas y Tarifas para el área Metropolitana de Monterrey, publicado en el Periódico Oficial de fecha 27 de Febrero del 2003.
  - ✓ Acuerdo de Cuotas y Tarifas por la prestación de los servicios de descargas y el uso o aprovechamiento de aguas residuales publicado en el Periódico Oficial de fecha 27 de Mayo de 1998.
  - ✓ Acuerdo relativo al Sistema Tarifario para el servicio público de agua, drenaje y saneamiento para los Municipios fuera del área conurbada de Monterrey publicado en el Periódico Oficial de fecha 30 de Abril del 2003.
  - ✓ Acuerdo de Tarifa específica para los prestadores de descargas en el sistema de drenaje y saneamiento de la Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., publicado en el Periódico Oficial de fecha 14 de Mayo de 1999.
  - ✓ Acuerdo de Cuota y Tarifa Preferencial a los usuarios de la Tercera Edad, publicado en el Periódico Oficial de fecha 22 de Julio de 1999.
  - ✓ Acuerdo por el que se aprueban y establecen cuotas y tarifas por la prestación de los servicios relacionados con las descargas de aguas residuales derivadas de servicios de sanitarios portátiles, limpieza de fosas sépticas y fosas desgrasadoras en las plantas de tratamiento.
- ✓ Norma Oficial Mexicana NOM-002-CNA-1995, que establece las especificaciones y métodos de prueba para los materiales que se usan en las tomas domiciliarias, con objeto de garantizar su hermeticidad y la calidad de los materiales.
- ✓ Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-013-CNA-2001 "Redes de distribución de agua potable – Especificaciones de hermeticidad y métodos de prueba".
- ✓ Norma Oficial Mexicana NOM-005-CNA-1996 que establece las especificaciones y métodos de prueba para los fluxómetros, mediante la cual se obliga a los fabricantes a producir dispositivos con descargas unitarias de sólo 6 litros en el caso de inodoros y de 3 en el caso de los mingitorios.
- ✓ Norma Oficial Mexicana, NOM-010- CNA-2000, "Válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro-Especificaciones y métodos de prueba".
- ✓ Norma Oficial Mexicana NOM-008-CNA-1999 que establece las especificaciones y métodos de prueba de regaderas empleadas en el aseo corporal; conforme a ésta, se deben producir regaderas con un caudal máximo de 10 litros por minuto

**Apéndice 10: Indicadores internacionales****Tabla A.6: Clasificación de la disponibilidad del agua****Tabla A.7: Grado de presión sobre el recurso hídrico en las regiones hidrológicas administrativas****Tabla A.8: Cobertura de agua potable y alcantarillado**

a Información obtenida del WBG, World Development Indicators Database. / b Información obtenida del INEE. / c Información derivada de documentos de la OECD. / d Datos estimados con base en el XII Censo General de Población y Vivienda, febrero 2000. INEGI.

Fuente: CNA [7]

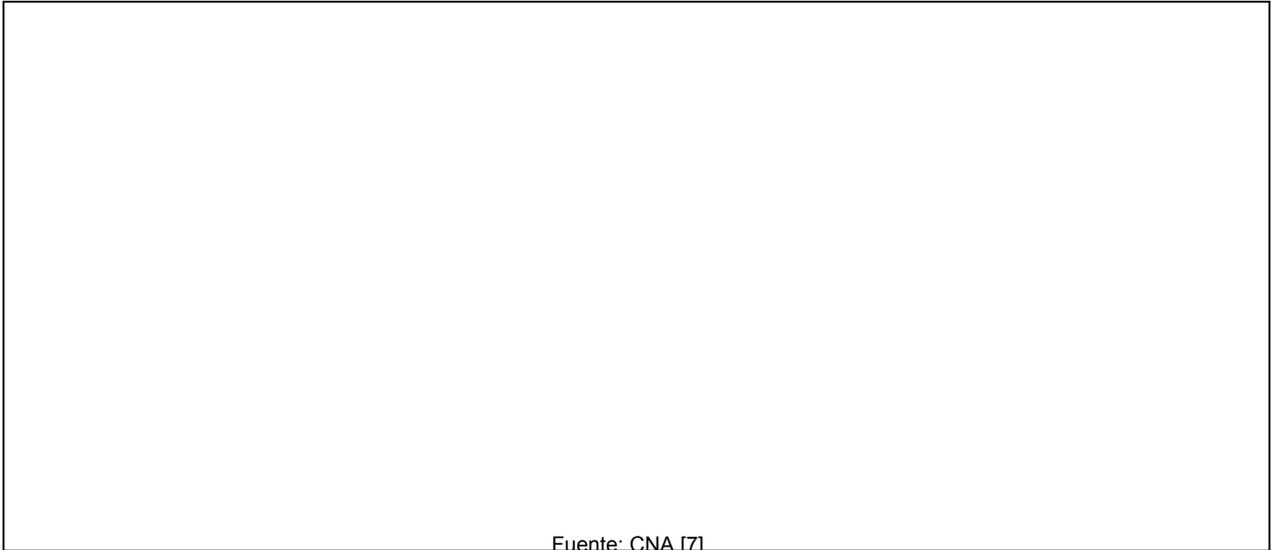
***Apéndice 11: Programa hidráulico regional 2002-2006 Región VI Río Bravo***

**Tabla A.9: Recarga, descarga, disponibilidad en el Estado de Nuevo León**

--

Fuente: CNA [7]

**Tabla A.10: Volúmenes de extracción en la región Río Bravo**

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the content of Table A.10. The box is currently blank.

Fuente: CNA [7]

**Tabla A.11: Extracción y recarga**

--

Fuente: CNA [7]

**Tabla A.12: Disponibilidad del agua por cuenca propia**

--

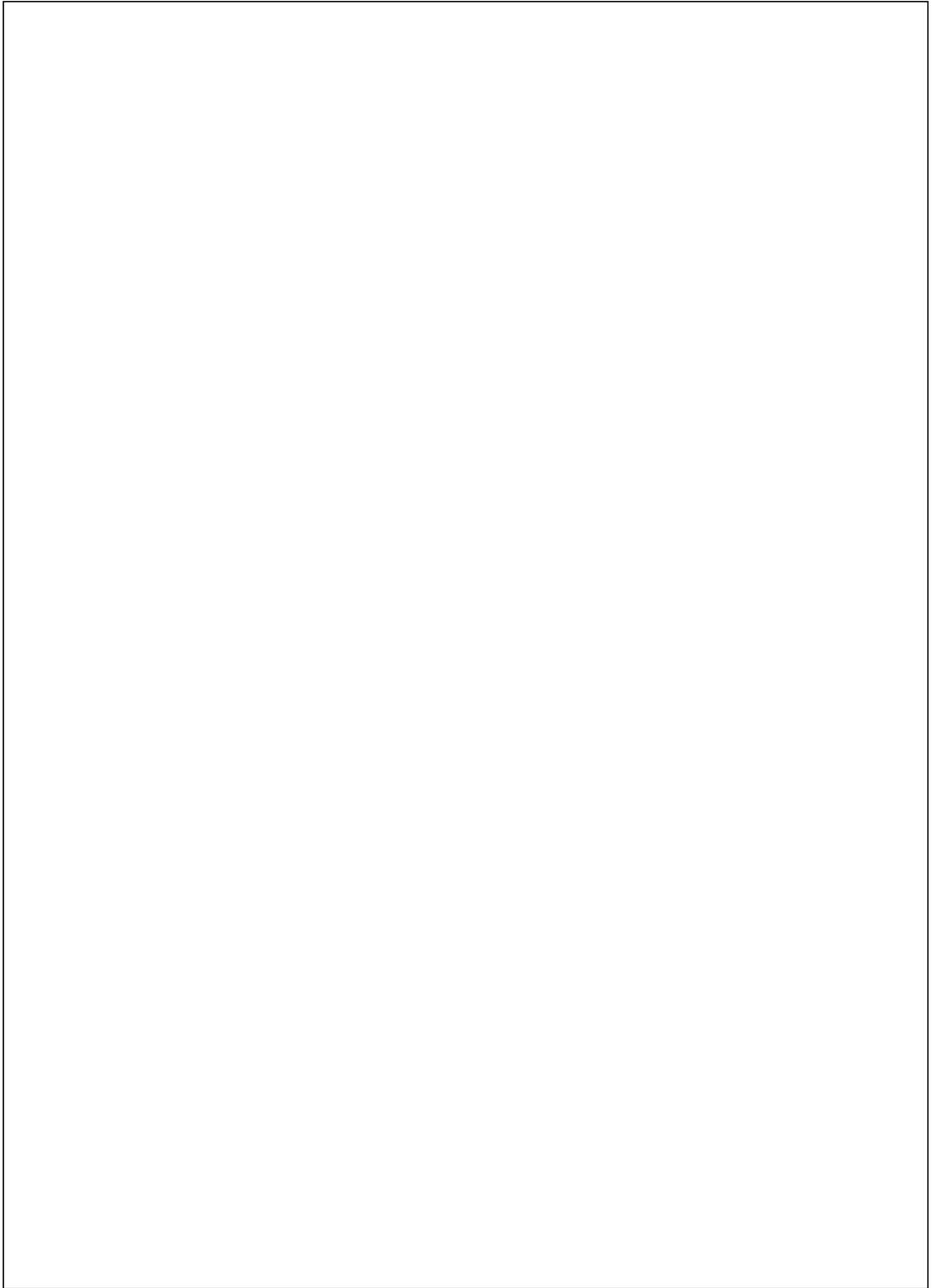
Fuente: CNA [7]

**Tabla A.13: Valores del Índice de Calidad del Agua (ICA)**

--

Fuente: CNA [7]

**Tabla A.14: Calidad del agua en la región Río Bravo**



Fuente: CNA [7]

## Apéndice 12: Biodiversidad

**RÍO SAN JUAN Y RÍO PESQUERÍA** Fuente: [9]

Área de alta biodiversidad, área de uso por los diferentes sectores, área que presenta algún tipo de amenaza

**Estado(s):** Nuevo León y Tamaulipas **Extensión:** 13 724.34 km<sup>2</sup>

### Recursos hídricos principales

**lénticos:** Presa Rodrigo Gómez "La Boca" y El Cuchillo

**lóticos:** ríos San Juan, Pesquería, de la Boca y Álamo, humedales, arroyos Escamilla y La Chueca, aguas subterráneas

**Biodiversidad:** tipos de vegetación: matorral submontano, mezquital, vegetación de desiertos arenosos y halófito. Vegetación acuática *Alternanthera* sp., *Elacatine* sp., *Eleocharis* sp., *Hydrocotyle* sp., *Myriophyllum* sp., *Najas* sp. y *Potamogeton* sp. Fauna característica de peces *Agonostomus monticola*, *Anchoa mitchilli*, *Angilla rostrata*, *Aplodinotus grunniens*, *Astyanax mexicanus*, *Atractosteus spatula*, *Campostoma anomalum*, *Cichlasoma cyanoguttatum*, *Codoma ornata*, *Cyprinella lutrensis*, *Cyprinodon eximius*, *C. variegatus*, *Dionda diaboli*, *D. episcopa*, *Etheostoma grahami*, *Fundulus grandis*, *Gambusia affinis*, *G. speciosa*, *Gila conspersa*, *Ictalurus lupus*, *I. furcatus*, *I. punctatus*, *Ictiobus bubalus*, *Lepisosteus oculatus*, *L. osseus*, *Lepomis cyanellus*, *L. gulosus*, *L. macrochirus*, *L. megalotis*, *Macrhybopsis aestivalis*, *Membras martinica*, *Moxostoma congestum*, *Notropis amabilis*, *N. braytoni*, *N. buchanani*, *N. stramineus*, *Percina macrolepida*, *Poecilia formosa*, *P. latipinna*, *P. mexicana*, *Pylodictis olivaris*, *Pimephales vigilax*, *Rhinichthys cataractae*, *Xiphophorus couchianus*. Endemismo de isópodos *Sphaerolana* spp y del crustáceo *Procambarus regiomontanus*; de peces *Cyprinella proserpina*, *C. rutila*, *Dionda melanops*, *Gila modesta*, *Hybognathus amarus*, *Moxostoma albidum*, *Notropis jemezianus*.

Todas estas especies amenazadas por pérdida de agua, descargas residuales urbanas e industriales, desforestación y modificación del hábitat. La zona representa un refugio para fauna migratoria; alberga a una comunidad vegetal dominada por *Helietta parvifolia*. Hay puma *Puma concolor* y oso negro *Ursus americanus*.

**Aspectos económicos:** acuicultura y agricultura; pesca comercial y deportiva en las presas. Hay recursos estratégicos de gas y petróleo.

### Problemática:

- Modificación del entorno: construcción de presas y canales.
- Contaminación: alta contaminación por industria, desechos urbanos y actividad agrícola.
- Uso de recursos: acuicultura de especies comerciales de lobina y besugo. Especies introducidas de almejas dulces *Lampsilis* sp. y *Corbicula* sp., acocil rojo *Procambarus clarkii*, carpas dorada *Carassius auratus*, matalote *Carpoides carpio*, herbívora *Ctenopharyngodon idella*, común *Cyprinus carpio*, mojarrón *Chaenobryttus gulosus*, sardina molleja *D. cepedianum*, sardina maya *Dorosoma petenense*, guayacán común *Gambusia affinis*, bagre *Ictalurus punctatus*, charal escamudo *Membras vagrans*, plateadito *Menidia beryllina*, lobina boca pequeña *Micropterus dolomieu*, lobina negra *M. salmoides*, tilapias *Oreochromis aureus*, *O. mossambicus*, *Tilapia aurea*, espada del sur *Xiphophorus maculatus*, espada de valles *X. variatus*. Hay violación de vedas y tallas mínimas, uso de explosivos y pesca ilegal. Existen problemas para el control de malezas como la *Hydrilla verticillata*, el lirio acuático *Eichhornia crassipes* y el pasto *Zosterella dubia*.

**Conservación:** es necesario un control de descargas industriales, urbanas y agrícolas, la regulación del uso del agua y establecer plantas de tratamiento de agua. Falta un inventario biológico; monitoreo y estado actual de grupos biológicos conocidos; estudio de las aguas subterráneas; dinámica poblacional de especies sensibles a alteraciones del entorno; estudios fisicoquímicos. Se recomienda incluir a los organismos en los monitoreos de la calidad del agua, evaluar los recursos acuáticos en términos de disponibilidad (calidad y cantidad), considerar el agua como un recurso estratégico y como áreas de refugio y alimentación de especies migratorias.

**CUMBRES DE MONTERREY** Fuente : [9]

Área de alta biodiversidad, área de uso por los diferentes sectores, área que presenta algún tipo de amenaza

**Estado(s):** Nuevo León y Coahuila **Extensión:** 2 603.06 km<sup>2</sup>

Principales poblados: Monterrey, Garza García, Sta. Catarina

Actividad económica principal: forestal y aprovisionamiento de agua para la Cd. de Monterrey

**Biodiversidad:** tipos de vegetación: matorral de coníferas, bosques de pino-encino, de pino, de encino, chaparral y pastizal inducido. Flora característica: *Abies* spp, *Abies vejari*, *Agave* sp., *Arbutus* sp., *Cercis canadensis*, *Dasyllirion* sp., *Lippia* sp., *Picea* sp., *Pinus ayacahuite*, *P. cembroides*, *P. greggii*, *P. hartwegii*, *P. pinceana*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. teocote*, *Pseudotsuga flahualti*, *Quercus fusiformis*, *Q. greggii*, *Q. hipoxlanta*, *Q. laeta*, *Q. saltillensis*, *Rhus* sp., *Yuca carnerosana*, *Y. filifera*. Fauna característica: de peces *Astyanax mexicanus*, *Campostoma anomalum*, *Cichlasoma cyanoguttatum*, *Cyprinella lutrensis*, *Etheostoma grahami*, *Gambusia affinis*, *Macrhybopsis aestivalis*, *Notropis amabilis*, *Notropis braytoni*, *N. stramineus*, *Poecilia mexicana*, *Puntius conchonius*, *Xiphophorus couchianus*. Endemismo de peces como *Cyprinella rutila*, *Cyprinodon* spp, *Dionda melanops*, *Moxostoma albidum*; el acocil regiomontano *Procambarus simulans regiomontanus*, indicadoras de aguas frescas y abundantes.

Todas amenazadas junto con las aves *Accipiter striatus*, *Aquila chrysaetos*, *Circus cyaneus*, *Falco columbarius*, *F. mexicanus*, *F. peregrinus*, *Rhynchopsitta terrisi*, *Speotyto cunicularia*, *Spizella wortheni* y los mamíferos *Felis concolor*, *Ursus americanus* por deforestación, urbanización, contaminación y desecación por extracción.

**Aspectos económicos:** actividad forestal y aprovisionamiento de agua.

**Problemática:**

- Modificación del entorno: aprovechamiento desmedido de los recursos hídricos, deforestación, desecación, urbanización y construcción de caminos. Explotación forestal y pastoreo.
- Contaminación: alta contaminación urbana, industrial y agropecuaria (agroquímicos).
- Uso de recursos: Especies introducidas de lobina negra *Micropterus salmoides*, tilapia *Tilapia aurea*, espada del sur *Xiphophorus maculatus* y espada de valles *X. variatus*.

**Conservación:** es necesario un control de descargas industriales, urbanas y agrícolas, la regulación del uso del agua y establecer plantas de tratamiento de agua. Falta un inventario biológico, monitoreo y estado actual de grupos biológicos conocidos; estudio de las aguas subterráneas, dinámica poblacional de especies sensibles a alteraciones del entorno y estudios fisicoquímicos. Se recomienda incluir a los organismos en los monitoreos de calidad del agua, evaluar los recursos acuáticos en términos de disponibilidad (calidad y cantidad) y considerar al agua como un recurso estratégico. Está considerado Parque Nacional Cumbres de Monterrey y la Reserva El Taray.