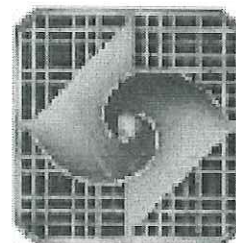


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS



**Optimización del manejo del agua de uso
urbano de Ensenada y uso agrícola de Maneadero y
Valle de Guadalupe, B. C.**

TESIS

Que para obtener el grado de
Maestra en Ciencias en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas

Presenta
Cynthia Waller Barrera

Ensenada, B.C.

Enero 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS

**Optimización del manejo del agua de uso urbano de
Ensenada y uso agrícola de Maneadero y Valle de
Guadalupe, B. C.**

Tesis que para obtener el grado de
Maestra en Ciencias en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas presenta:

Cynthia Waller Barrera

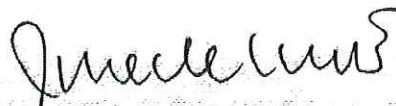
Aprobada por:



Dr. Leopoldo Guillermo Mendoza Espinosa
Presidente del Jurado



Profesor, Dr. Jay Richard Lund
Sinodal Propietario



Dr. Josué Medellín Azuara
Sinodal Propietario

RESUMEN

La administración de los recursos del agua bajo condiciones de escasez y rápido crecimiento urbano plantean un reto complejo de vital importancia para el desarrollo socioeconómico de Baja California. La ciudad de Ensenada y la agricultura de Manadero y Guadalupe dependen totalmente del abasto de acuíferos. La falta de abasto, el crecimiento urbano y los posibles conflictos de asignación de agua entre la demanda urbana y agrícola, así como el planteamiento de nuevas opciones de abasto, requiere un estudio sistemático. El modelo Baja CALVIN permite esclarecer el valor económico de tomar una u otra decisión y su efecto en el resto del sistema del que forma parte con la intención de proveer herramientas que ayuden en la toma de decisiones y en la planeación integral del manejo del agua.

Tomando en cuenta datos agrícolas y de uso urbano del agua y la hidrología de la región se plantearon 16 escenarios de manejo de agua que incluyeron combinaciones de las siguientes políticas de manejo de agua: reuso de aguas tratadas, transferencia de agua del Río Colorado (acueducto El Hongo-La Misión), desalación y sobreexplotación. Del resultado de la ejecución del modelo se obtuvieron los costos de escasez, disponibilidad a pagar y escasez de agua para la ciudad de Ensenada, la agricultura de Maneadero y de Guadalupe. Estos se consideraron indicadores de desempeño económico a fin de jerarquizar los escenarios de manejo de agua. Se analizó también la asignación de agua entre usuarios agrícolas y urbanos, las entregas de agua de cada acuífero a cada tipo de demanda y la administración de las aguas residuales tratadas destinadas al reuso en riego agrícola, recarga de acuíferos y de la presa Rodríguez Zamora. Las opciones con mejor desempeño económico por ocasionar los menores costos de escasez (4.2 millones de pesos (M\$)/año) en relación a las otras opciones, fueron las que incluyen el reuso de aguas tratadas destinadas en su mayor parte al riego agrícola. El acueducto El Hongo-La Misión fue la segunda mejor opción, aunque a un alto costo de escasez para las agriculturas (9.5 M\$/año). La desalación de mar nunca fue considerada como una opción viable y el modelo asumió como mejor opción el no utilizar ninguna de las opciones de abasto a un alto costo de escasez (37.4 M\$/año). La sobreexplotación de acuíferos presentó los valores más bajos de escasez, aunque esta opción no es sustentable.

En cuanto a las asignaciones de agua, el acuífero de Guadalupe nunca fue utilizado por el modelo para abastecer de agua a Ensenada, mientras que la planta de tratamientos de aguas residuales El Naranjo fue la opción para desarrollar el reuso agrícola principalmente. Se incluye una discusión de las implicaciones de manejo y sustentabilidad de las opciones de abasto, así como recomendaciones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al financiamiento de CONACYT mediante el programa de becas para estudios de posgrado y al proyecto de investigación *Manejo y Reuso del Agua Basados en Mecanismos de Mercado para Uso Agrícola Urbano y Ambiental* de la Convocatoria 2005 UC MEXUS–CONACYT dirigido por el Dr. Leopoldo Mendoza del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC y por el Prof. Jay R. Lund de la Universidad de California, Davis.

Le estoy muy agradecida a mi comité de tesis, al Dr. Leopoldo Mendoza Espinosa, Dr. Josué Medellín Azuara y al Profesor Jay R. Lund. El desarrollo de este trabajo con ustedes fue una experiencia enriquecedora y muy grata. Sus contribuciones, las cuidadosas revisiones y ayuda incondicional fueron edificadoras. En especial estoy en deuda con mi profe estrella y amigo Polo: tu entusiasmo y dedicación despertó en mí el gusto por el manejo del agua. He aprendido mucho de ti, gracias por tu guía, la paciencia a pesar de mis tardanzas y muy generoso apoyo ofrecido.

Este trabajo fue posible gracias al apoyo de varias instituciones y la amable ayuda de su personal. Agradezco a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, DDR Ensenada (SAGARPA), la cooperación del Ing. Javier Guillins Villareal y todo el personal que me apoyó. En especial al Ing. Fernando Sánchez Galicia por darse el tiempo de revisar mis bases de datos agrícolas y las agradables charlas. Agradezco a los ingenieros Aválos, Camacho, Lafarga y a Toñita por su disposición a facilitarme cuanto dato solicité, explicarme los detalles a pesar de sus apuraciones y hacer grata la fase de recolección de datos. Reconozco la participación de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE) mediante el apoyo del Ing. Hugo Zepeda Berrelleza, y en especial al Ing. José Flores Trejo, la C.P. Martha Vera y a la Ing. Aurora Castro por tomarse el tiempo de atender mis peticiones. A la Comisión Nacional del Agua (CNA), que mediante el Ing. Colima facilitó el acceso a la información. Aprecio mucho la ayuda del Dr. David Rivas y Dra. Teresa Cavazos del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por su contribución en la obtención de las bases de datos hidrológicas.

Así también, agradezco al Comisariado del Ejido Nacionalista de Rodolfo Sánchez Taboada, Maneadero. Al Sr. Raúl Solorio por facilitarme al acceso a los productores agrícolas de Maneadero y por su muy servicial atención. Al Rancho Twins, en especial al Ing. Melgoza por su ayuda y por permitirme respirar y disfrutar la agricultura de este valle.

Agradezco a mis maestros, la Dra. Ileana Espejel, M.C. Claudia Leyva y al Dr. Roberto Gallardo por el interés en sus alumnos, su disposición a ayudar y motivar. A mis compañeros de la MEZA por haber sido parte de este agradable reencuentro con el mundo académico, en especial a Yola por los buenos ratos de charla.

Estoy en deuda con mis queridos amigos y hermanos en Maneadero, la familia Carrillo. Gracias Barney Carrillo por tenernos paciencia a través de todos estos años, por permitirnos invadir su tierra y compartir su familia. A mi pastor Rodolfo Leal y familia, que en poco tiempo de conocernos nos acogieron y apoyaron de muchas maneras. A mis amigos, los Ibarra Galindo por las terapias de risa que me ayudaron a mantener la salud mental durante tantos desvelos y dificultades.

Agradezco a mis papis que a pesar de mis años encima siguen al pendiente de mi, gracias por su cariño y atenciones. También a mis hermanas, cuñado y sobrinos por los ratos alegres de familia y su mucha ayuda. Muchas gracias a toda mi familia Mateos por el incondicional apoyo, son un ejemplo de servicio y generosidad. Taurino y Raquel, suegritos, no se que haríamos sin ustedes, los quiero mucho.

A mis queridos hijos, Joel, Elizabeth y Ana Ruth por ser la motivación a esforzarme y apurarme a terminar (con sus constantes ¿ya mero acabas la tesis mami?), por las gratas sorpresas con que alegran los días y por ayudarme a poner los pies en la tierra.

Sobre todo a mi chico sonorenses, Efraín mi esposo y amigazo: ¡eres lo máximo! Por siempre te estaré agradecida por animarme a aventarme, ayudarme en el proceso y aguantarme hasta el final de esta locura. ¡Que amor! Vamos por la tuya.

Y sobre todo y todos, agradezco a mi Señor, salvador y amigo Jesucristo, por rodearme de amor y cuidados como no merezco.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
<i>Enfoques de manejo del agua.....</i>	2
<i>Valoración económica del agua</i>	2
<i>Modelos de optimización.....</i>	4
<i>Optimización en manejo de agua de Ensenada y sus zonas agrícolas</i>	5
ANTECEDENTES	6
<i>Área de Estudio</i>	6
<i>Estudios Previos</i>	9
<i>Modelación del abasto de agua</i>	10
<i>Aplicaciones de CALVIN.....</i>	12
OBJETIVOS	14
METODOLOGIA	15
I. MODELACIÓN	15
<i>Enfoque de la modelación.....</i>	15
<i>Modelo CALVIN</i>	16
<i>Datos de entrada al modelo y salidas del modelo</i>	18
<i>Aplicabilidad y limitantes</i>	18
<i>Baja CALVIN.....</i>	19
<i>Alternativas de manejo de agua en Ensenada</i>	22
<i>Políticas de abasto de agua.....</i>	22
<i>Modificación del Caso Base</i>	24
<i>Post-procesamiento</i>	24
II. OBTENCIÓN DE DATOS DE ENTRADA AL MODELO.....	25
A. DATOS AGRÍCOLAS.....	25
<i>Selección de cultivos representativos</i>	26
<i>Estimación del valor económico del agua de uso agrícola.....</i>	27
B. DATOS URBANOS	27
<i>Valor económico del agua de uso urbano</i>	28
C. DATOS GEOHIDROLÓGICOS E HIDROLÓGICOS	29
RESULTADOS Y DISCUSIONES	30
I. OBTENCIÓN DE DATOS.....	30
A. Usuarios agrícolas del agua	30
<i>Selección de cultivos representativos</i>	34
<i>Costos de producción agrícola.....</i>	36
B. Usuarios urbanos del agua	40
<i>Tarifas por consumo de agua.....</i>	40
II. EJECUCIÓN DEL MODELO	43
A. Escasez y costos de escasez	43
B. Asignaciones de agua	48
C. Implicaciones para el manejo del agua	59

CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES.....	80
BIBLIOGRAFIA	82
ANEXO I. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE DATOS	91
ANEXO II. VALOR ECONÓMICO DEL AGUA DE USO URBANO Y AGRÍCOLA	103

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aplicación del software HEC-PRM en estudios previos de optimización	11
Tabla 2. Políticas de abasto.....	23
Tabla 3. Tipo de datos colectados relativos a producción agrícola.	26
Tabla 4. Tipo de datos colectados para los usuarios urbanos del agua.	28
Tabla 5. Listado de los cultivos de Maneadero.	31
Tabla 6. Listado de los cultivos de Valle de Guadalupe	32
Tabla 7. Resumen de producción agrícola de Maneadero.....	33
Tabla 8. Resumen de producción agrícola de Valle de Guadalupe.....	33
Tabla 9. Selección de cultivos representativos de Maneadero.....	35
Tabla 10. Selección de cultivos representativos para Valle de Guadalupe.	36
Tabla 11. Costos anuales de producción cultivos de Maneadero.	37
Tabla 12. Costos anuales de producción cultivos de Guadalupe.	37
Tabla 13. Mano de obra y su costo para los años 2002 al 2004.	38
Tabla 14. Costos de energía eléctrica por la extracción de agua de subterránea.	39
Tabla 15. Requerimientos de agua por cultivo.....	39
Tabla 16. Volúmenes de agua consumida por tipo de usuario.....	41
Tabla 17. Indicadores de desempeño económico por escenario, para cada zona de demanda.....	43
Tabla 18. Asignación de agua entre el uso urbano y agrícola.....	49
Tabla 19. Asignaciones por cada acuífero al abasto urbano o agrícola.	55
Tabla 20. Distribución de los efluentes de la PTAR El Naranjo al reuso.	56

Tabla 21. Recomendaciones de monitoreo y frecuencia de muestreo es sistemas de reuso para irrigación.	67
Tabla 22. Casos de recarga de acuíferos alrededor del mundo.....	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de la escasez	4
Figura 2. Ubicación la ciudad de Ensenada y los valles agrícolas de Guadalupe y Maneadero.....	6
Figura 3. Diagrama del sistema de abastecimiento de agua a la ciudad de Ensenada..	21
Figura 4. Volumen de aguas residuales generadas	41

INTRODUCCION

La administración de los recursos del agua bajo condiciones de escasez y rápido crecimiento urbano plantean un reto complejo de vital importancia para el desarrollo socioeconómico de Baja California. Dicha entidad se encuentra entre los estados mexicanos con mayor escasez de agua. El promedio anual de precipitación es de 245 mm por año; en contraste, el estado de Tabasco recibe 2588 mm de agua cada año (CNA, 2007).

En el país se utiliza en promedio el 15% del volumen de la disponibilidad media del agua, sin embargo, el estado de Baja California utiliza el 85%, lo que se considera por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) una fuerte presión sobre el recurso hídrico y sobre los ecosistemas que dependen de este (CNA, 2005b). En México el tema del agua ha comenzado a recibir mayor atención y ha sido considerado oficialmente como un tema de seguridad nacional (CNA, 2003).

Localmente, la dinámica del crecimiento de la ciudad de Ensenada, con un 3.9% de tasa de crecimiento (CONAPO, 2005), aunado al agotamiento de los acuíferos de los que depende, implica que la demanda de agua superará a la oferta de agua potable en el corto plazo, de acuerdo con la estimaciones de la Comisión Nacional del Agua (CNA), Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE) y la Comisión Estatal del Agua (CEA). Existe la posibilidad del surgimiento de conflictos sociales que involucren las demandas de agua de los agricultores y la demanda de agua urbana de un recurso de baja calidad debido a la sobreexplotación de acuíferos.

En este contexto surge la necesidad de identificar nuevas fuentes de suministro para el abastecimiento del agua potable en la región. El gobierno a nivel federal, estatal y municipal ha identificado y planeado varias estrategias de abastecimiento de agua potable. Entre las fuentes potenciales de abasto destacan la perforación de pozos adicionales, el reuso de agua tratada para uso industrial, agrícola, riego de áreas verdes y recarga de presas y acuíferos, la desalación de agua de mar y un nuevo acueducto que aporte agua del Río Colorado (Programa Hidráulico Estatal, 2003; Ramírez-Acosta y Mendoza-Espinosa, 2005). Por tanto, se pretende en este estudio priorizar entre las

alternativas de fuentes de suministro, aquellas que satisfagan las demandas urbanas y agrícolas de manera económicamente óptima y de manera sustentable, en dirección hacia la integración de propuestas que planteen un manejo integral.

Enfoques de manejo del agua

La administración del recurso agua requiere análisis, planeación y manejo basado en información. En la administración del agua se han desarrollado paradigmas que tratan de enfrentar los retos de una demanda en cantidad y calidad creciente. Históricamente el manejo del agua se enfocaba en satisfacer la demanda de agua de una población, en la búsqueda de fuentes de abastecimiento con la cantidad y calidad necesaria. A medida que las demandas superan la capacidad de abasto, se ha introducido el concepto de manejo de la demanda en el que la prioridad es reducir el volumen de agua consumido, administrando las demandas presentes y futuras al alterar el consumo neto, o bien el tiempo o lugar de su uso (Drangert y Cronin, 2004; Asano, 2007).

Sin embargo, el satisfacer la demanda del agua continúa siendo un reto para la sociedad debido al rápido crecimiento de los centros urbanos, al deterioro ambiental -que implica deterioro de la calidad del agua de abasto- y los efectos negativos en el área socioeconómica. Por ello, el enfoque está siendo desplazado hacia un manejo sustentable del agua, que implica la búsqueda de soluciones a todo un sistema para cumplir con las necesidades de agua de manera confiable y equitativa, a las generaciones presentes y futuras (Asano, 2007).

Para alcanzar tal sustentabilidad en el manejo del agua es necesario considerar diversos aspectos de una sociedad, incluyendo el medio ambiental, social, económico, técnico y legal e institucional, entre otros. Al aplicar un manejo integrado del agua se requiere responder el cómo usaremos el agua disponible para proveer alimento, medio ambiente seguro, salud y sostenimiento a una población mundial creciente, sin socavar el ambiente natural que la provee, de una manera económicamente eficiente (Bos and Bergkamp, 2001).

Valoración económica del agua

En este contexto, el uso de herramientas de análisis que apoyen en la toma de decisiones para fundamentar propuestas de manejo agua adquiere relevancia. El

considerar el agua como un bien económico es una de las herramientas utilizadas para la toma de decisiones relacionadas a su manejo. El agua es un bien de consumo directo, es un factor de producción, ofrece servicios ambientales, a la vez que es escaso. La atribución de un valor económico contribuye a la asignación más eficiente entre los usuarios al enfocarla a aquellos usos donde ésta representa mayor beneficio. Por ello, el estimar valores económicos al agua es una tarea necesaria en el proceso de un análisis integrado del agua. Sin embargo, la valoración económica de muchos de sus beneficios y servicios es un tema controvertido. El agua ofrece beneficios y servicios para los que es difícil estimar su valor (Agudelo, 2001).

En el presente estudio, la valoración del agua se enfoca hacia el valor económico de uso, contrastando con los valores de no uso, tal como es el valor del agua en la geomorfología, en los sistemas naturales, en la cultura, religión o estética. Como valor de uso y por su rol económico, se incluyen aquí los usos en la agricultura y urbanos (comercio, industria y doméstico).

Los términos centrales en este enfoque incluyen los conceptos de mercado ideal, escasez y costo de escasez. Un *mercado ideal* se define como un mercado sin costos de transacción o riesgos, en donde los tomadores de decisiones tienen conocimiento y previsión perfecta de la información económica e hidrológica, y sólo las restricciones físicas y ambientales limitan la entrega o abasto del agua. Teóricamente, tal manejo del agua económicamente ideal puede surgir de una variedad de mecanismos, incluyendo formas cooperativas o centralizadas, o un mercado regido económicamente. Sin embargo, el mecanismo de mercado ofrece un enfoque más probable para una aproximación a la operación y asignación económicamente ideal (Newlin et al, 2002). La escasez es el grado en que los usuarios del agua quisieran tener más agua entregada, y se define aquí como la diferencia entre el uso meta o máximo (las entregas en las que la disponibilidad a pagar por una unidad adicional de agua es de cero) y las entregas actuales si el precio fuera cero y sin limitantes de disponibilidad de agua (Figura 1).

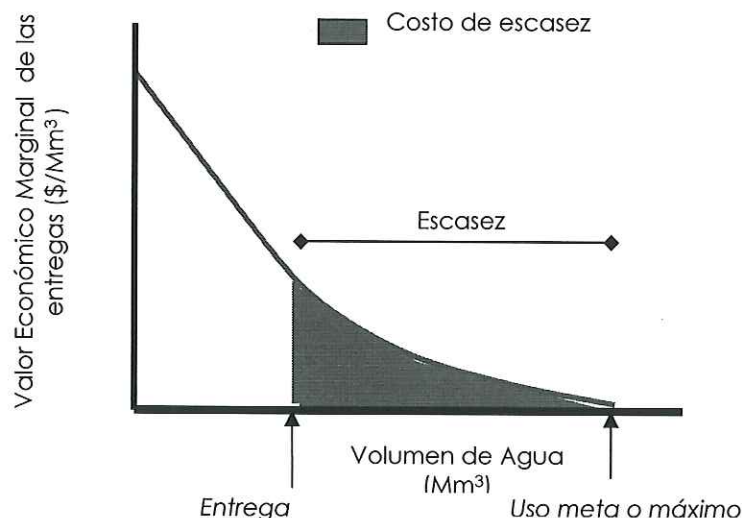


Figura 1. Curva de la escasez (fuente: Newlin et al. 2002)

El costo de escasez es la cantidad de dinero que el usuario pierde debido a que se le ha entregado una cantidad insuficiente de agua, determinado por el área bajo la curva de demanda entre la cantidad de agua entregada y el uso máximo o meta. Dado que los sistemas de entrega o abasto de agua incurren en costos y que existen costos de oportunidad al uso del agua, el tener cierto grado de escasez puede ser óptimo (Newlin et al. 2002).

Modelos de optimización

La administración del abasto de agua en una localidad puede ser una tarea compleja, caracterizada por numerosas interacciones dentro de su sistema. El enfoque de análisis de sistemas provee la posibilidad de estudiar y conocer mejor dichos sistemas complejos aplicando la modelación. Los modelos de optimización ofrecen ventajas sobre los modelos de simulación al evaluar alternativas y prescribir o determinar cuáles son las mejores estrategias entre varias opciones. Estos modelos son especialmente adecuados para evaluar alternativas económicas donde el objetivo sea maximizar beneficios o minimizar costos. Debido a los avances en la tecnología computacional y al desarrollo de software, la optimización en proyectos de gran escala se ha hecho posible en los últimos años (Labadie, 1997).

Optimización en manejo de agua de Ensenada y sus zonas agrícolas

La ciudad de Ensenada depende totalmente del abasto de agua de los acuíferos de Ensenada, La Misión, Guadalupe y Maneadero. Estos dos últimos constituyen también la única fuente de abasto a la agricultura de Maneadero y Guadalupe, respectivamente. La falta de abasto, el crecimiento urbano y los posibles conflictos de asignación de agua entre la demanda urbana y agrícola, así como el planteamiento de nuevas opciones de abasto, requiere un estudio sistemático. Un modelo de optimización como el que aquí se propone, permite integrar todas las fuentes de abasto de agua, la infraestructura e hidrología que englobe toda la operación de la ciudad y las zonas agrícolas relacionadas a ésta. Dicho modelo de optimización económico-ingenieril, ofrece esclarecer el valor económico de tomar una u otra decisión y su efecto en el resto del sistema del que forma parte con la intención de proveer herramientas que ayuden en la toma de decisiones y en la planeación integral del manejo del agua.

Antecedentes

Área de Estudio

La ciudad de Ensenada y las zonas agrícolas de Valle de Maneadero y Valle de Guadalupe se encuentran al noroeste de Baja California, México (Figura 2). La zona cuenta con clima mediterráneo, con veranos secos y lluvias invernales. La precipitación media es de 245 mm por año (CNA, 2007).

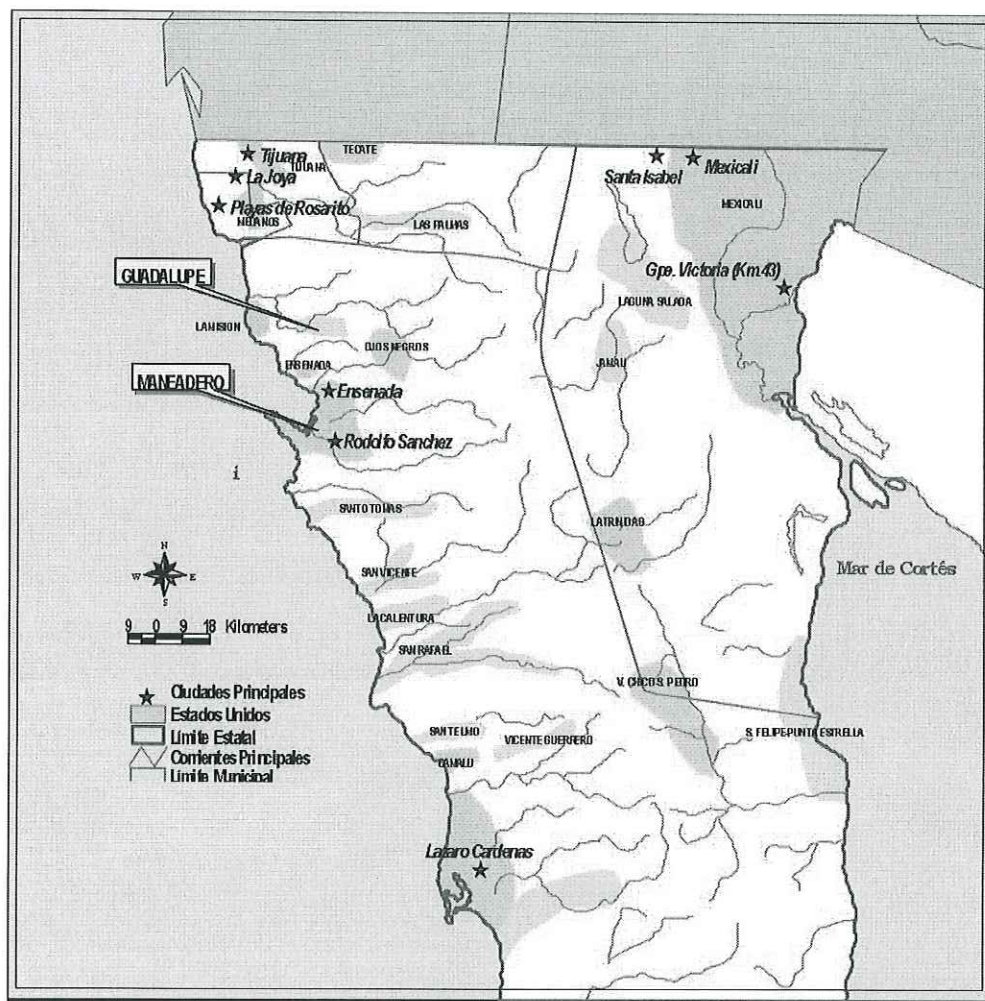


Figura 2. Ubicación la ciudad de Ensenada y los valles agrícolas de Guadalupe y Maneadero (fuente: CNA, 2003b)

Existen sequías frecuentes y prolongadas, así como eventos de lluvias extraordinarias con una periodicidad de alrededor de 10 años que provocan inundaciones. Estos

fenómenos afectan el desarrollo de la actividad agrícola, el abastecimiento de agua a la población y llegan a causar daños graves a la infraestructura de vías de comunicación. Según el censo del 2000, la ciudad de Ensenada cuenta con una población de 260,065 habitantes; la principal actividad es la industria ligera y el comercio (INEGI, 2004). La Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE), encargada del abastecimiento, conducción, tratamiento y saneamiento del agua, a nivel municipal, maneja un volumen de agua de alrededor de 1.7 millones de m³ por mes. La ciudad cuenta con una red de abasto de agua que cubre el 99.88% de su población con más de 86,000 conexiones y una cobertura de alcantarillado del 83%. Existen pérdidas por fugas que varían en un rango del 16 al 30%. Baja California es el estado que presenta el mejor servicio de recaudación por uso de agua; obtiene \$5.4 pesos por m³ de agua servida, muy por arriba del promedio nacional que es \$1.70 pesos. Contrasta con el resto de los estados de la región que muestran valores inferiores a este promedio nacional y hasta por debajo de un peso en localidades como Loreto, Santa Rosalía, Guaymas, Huatabampo y Puerto Peñasco (CNA, 2003).

La ciudad de Ensenada, en contraste con otras ciudades de México, trata la totalidad de las aguas residuales captadas en su sistema de alcantarillado (CESPE, 2005). A nivel nacional sólo el 26% de la población está conectado a algún tipo de plantas de tratamiento, de las cuales el 20% se encuentran fuera de funcionamiento, y aquellas que operan se desempeñan por debajo de su capacidad de diseño (OECD, 2003).

Ensenada cuenta con 3 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): El Naranjo, con una capacidad instalada de 500 lps; el Gallo, con 250 lps, y el Sauzal, con 60 lps. Las tres plantas de tratamiento operan actualmente por debajo de su capacidad máxima y con alta eficiencia. El poblado de Maneadero cuenta con la planta Hogares del Puerto, con capacidad de 8 lps (CNA, 2005c). Estas aguas, cumplen con la legislación mexicana para descargas a cuerpos de agua costeros e inclusive para reuso en donde el público se encuentre en contacto indirecto. Sin embargo tan solo alrededor del 2% de ellas son reutilizadas en el riego de algunas áreas verdes de la ciudad (Mendoza-Espinosa et al. 2004).

Dado que las aguas superficiales son escasas y temporales, el abasto urbano proviene de fuentes de aguas subterráneas. Los acuíferos del Valle de Maneadero, Ensenada, La Misión y Valle de Guadalupe abastecen a la ciudad. La presa Ing. Emilio López Zamora, localizada sobre el arroyo Ensenada, se construyó para el control de avenidas, aunque actualmente también almacena agua para abastecer a la ciudad de Ensenada. Tiene una capacidad de almacenamiento al NAMO (Nivel de Aguas Máximo Ordinario) de 3.13 Mm³ y al NAME (Nivel de Aguas Máximo Extraordinario) de 6.86 Mm³ cúbicos (CNA, 2003).

Las escasas precipitaciones y el rápido desarrollo urbano han ocasionado que los acuíferos de Maneadero y Guadalupe estén sobreexplotados. Además, los acuíferos de Maneadero y Ensenada, presentan intrusión salina (Daesslé et al. 2004; CNA, 2007).

El Valle de Maneadero es una zona agrícola de importancia económica en el estado, ubicado a 10 km al sur de la ciudad de Ensenada. Comprende una superficie de cultivo de aproximadamente 5,300 ha de riego y una superficie con invernaderos de 42.75 ha, equivalente a cerca del 1.6% de la superficie total (CNA 2003b, SAGARPA, 2005). El acuífero de Maneadero constituye la única fuente actual de abastecimiento de agua para riego y para el uso del poblado conocido con el mismo nombre. El poblado cuenta con 15,234 habitantes (INEGI, 2005). La principal actividad de esta zona es la agricultura de hortalizas como jitomate, chicharo y cebollín, así como cultivos perennes como el olivo, espárrago y alfalfa (SAGARPA, 2005). Cerca del 90% de la producción agrícola se destina a la exportación hacia los Estados Unidos de Norteamérica. La tecnología de riego es principalmente por goteo. La extracción total del acuífero para uso agrícola representa el 71%, el 25% se destina al uso público y urbano, y el 4% para usos varios (CNA, 2003b).

Por su parte, el Valle de Guadalupe se ubica a 30 km al norte de la ciudad de Ensenada. Se extrae agua del acuífero del mismo nombre mediante 11 pozos a razón de cerca de 200 lps, para abastecer la ciudad (Daesslé et al., 2006). El acuífero además sostiene a la agricultura de la vid, y la producción de vinos, la cual representa la más importante agroindustria del país en este género (Mendoza-Espinosa, 2005, Daesslé et al., 2006). Durante el 2001 la producción de vinos en la zona costa fue de 19.6 millones de litros, de los cuales el 30% se comercializó en el mercado de exportación y el 70% restante en el

mercado nacional (SAGARPA, 2005). Dicho Valle comprende una superficie agrícola de 12,115 Ha, de las cuales 4,137 Ha corresponden a la modalidad de riego. La vid y el olivo, por su importancia económica y generación de mano de obra, son los cultivos más importantes de la región. También se cultiva una gran variedad de hortalizas y se ha observado en los últimos años una tendencia hacia el desarrollo de cultivos orgánicos y de invernadero, que aunque representan menor volumen y extensión de producción, su valor de producción es elevado (SAGARPA, 2005). El estado de sobreexplotación del acuífero del Valle de Guadalupe ha atraído el interés de diversos actores relacionados a éste, por lo que su manejo se ha tornado en un asunto complejo (Mendoza-Espinosa et al. 2005).

Los valles agrícolas y acuíferos de Maneadero y Guadalupe se han calificado como Zonas Críticas por problemas en fuentes, cantidad y abastecimiento de agua, y por sobreexplotación de acuíferos, así como la zona urbana de Ensenada por contaminación de suelo por rellenos sanitarios, deforestación, falta de cultura del agua y falta de control de calidad de la potabilización del agua, así como sequía generalizada en la región (SIDUE, 2000). La competencia por el agua entre las ciudades y la agricultura es un proceso cada vez más notorio. Se evidencia en el cambio de uso del agua identificado en las últimas décadas a través del destino urbano del agua que se obtiene mediante las perforaciones de nuevos pozos, así como en la desaparición o disminución de superficies de siembra (CNA, 2003).

Estudios Previos

El manejo del agua en el norte de Baja California ha sido tema de estudio bajo el enfoque de fuentes de agua (Luecke et al. 1999, Michel 2002), conservación (Valdés-Casillas et al. 1998), derechos de agua e impactos socioeconómicos (Culp, 2000). Localmente se han llevado a cabo estudios para la identificación de posibles fuentes de abasto de agua adicional a la ciudad de Ensenada, entre estos se considera, el reuso de aguas tratadas en el riego agrícola del Valle de Maneadero, para la recarga del acuífero de Maneadero, aumento del riego de áreas verdes de la ciudad y para uso industrial (Ramírez-Acosta y Mendoza-Espinosa, 2005).

Varias opciones de reuso de aguas residuales tratadas fueron analizadas mediante análisis de costo-beneficio y aplicación de encuestas a habitantes de Ensenada, B. C.

para conocer el grado de aceptación de las aguas residuales tratadas en esquemas de reuso urbano. Dichas opciones incluyen el reuso agrícola, la recarga de acuíferos, el riego de áreas verdes y el reuso industrial. Se encontró que la mayoría de la población está dispuesta a aceptar su reuso en la ciudad, excepto en actividades con contacto directo, siempre y cuando estén convencidos de que su calidad es monitoreada y controlada (CNA, 2005a).

Se ha identificado que el agua residual tratada de la ciudad en especial la proveniente de la planta de tratamiento El Naranjo, cuenta con la calidad necesaria para ser reutilizada en la agricultura y viabilidad para aplicación en recarga de acuíferos (Mendoza-Espinosa et al. 2004; Rivera-Cárdenas, 2006). Además, el agua residual tratada por las plantas de tratamiento de El Sauzal y El Gallo, han demostrado que cumplen con los requerimientos para las descargas que se reusen con contacto indirecto u ocasional (i.e. exposición al agua tratada de manera indirecta o con contacto físico incidental y acceso restringido) de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997 (DOF, 1998), por lo que se cuenta con el potencial de aprovechar estas descargas en riego agrícola o en recarga de acuíferos (Mendoza-Espinosa et al., 2005).

Modelación del abasto de agua

Los modelos de optimización han sido aplicados a sistemas de abasto de agua desde finales de la década de los 1950 principalmente como experimentos y estudios académicos. A partir de la década de 1990, dado las mejoras en software que facilitan las operaciones de la optimización, mayor disponibilidad de datos, confianza en la valoración económica y aceptación del modelación mediante computadoras, los modelos de optimización se han aplicado en estudios de planeación y análisis de recursos del agua (Jenkins et al., 2001).

En el estado de California, Estados Unidos (EU) se han desarrollado varias herramientas diseñadas para el estudio del manejo del agua como los modelos de simulación: DWRSIM (Department of Water Resources Simulation Model), PROSIM, SANJASM (San Joaquin Areas Simulation Model), CALSIM (California Simulation Model) y CVGSM (Central Valley Groundwater Simulation Model) (Jenkins et al., 2001, California Department of Water Resources, 2006).

El enfoque general del modelo de optimización CALVIN (California Value Integrated Network) ha sido aplicado en muchos estudios anteriores desde la década pasada mediante el software HEC-PRM (Hydrological Engineering Center Perspective Reservoir Model). Este es un código computacional para la solución de flujos en red que se ha utilizado extensamente en estudios de optimización. La Tabla 1 muestra estudios anteriores que han aplicado dicha herramienta.

Tabla 1. Aplicación del software HEC-PRM en estudios previos de optimización (fuente: Jenkins et al. 2001)

Area de aplicación / Cuencas	Propósito del estudio	Referencia
Rio Missouri, EUA	Almacenamiento de agua basado en estudio económico Reglas de Operación del Sistema	USACE, 1990, 1991a, 1992b, 1994b; Lund y Ferreira, 1996
Sistema de Rios de Columbia, EUA	Almacenamiento de agua basado en estudio económico Reglas de Operación del Sistema, Capacidad, Expansión, Operaciones Propósitos Múltiples, Operaciones Estacionales	USACE, 1991b, 1993, 1996
Sistema Carson-Truckee	Priorización de usos y Evaluación de Desempeño	Israel 1996; Israel y Luna, 1999
Presa Alamo	Operación Multiobjetivo de presas	Kirby 1994; USACE, 1998b
Sistema del sur de Florida, EUA	Expansión de Capacidad y Desempeño Multipropósito	USACE, 1998 a
Sistema de Canal de Panamá	Desempeño en Sequía y Operación Económica de Presas	USACE, 1998b
Modelos de cinco regiones de California, EUA	Calibración de Modelo de todo el Estado y Estudio de Potencial por Región de Mercados	Jenkins et al. 2001
Sistema interlazado de California, EUA	Expansión de la Capacidad Económica, Mercados de Agua y Financiamiento	Howitt et al., 1999; Jenkins et al, 2001

Entre otros ejemplos de aplicaciones de modelos de optimización está el caso de la Isla de Paros, Grecia, en el que se aplicó un modelo de optimización para encontrar la combinación de opciones de abasto de agua a través de la identificación del mínimo costo de abasto. Se utilizó el Valor Presente Neto de los costos proyectados de agua para el periodo 2002-2030. En este caso, se usó el método de gradiente reducido generalizado no lineal tomando la capacidad de las opciones de abasto de agua como la variable de decisión (Vovontas, 2003).

Otro caso es el del Proyecto de Modelación de Decisión para Estrategias de Abasto Alternativo de Agua (Decision Modeling for Alternative Water Supply Strategies) de la

costa este de Florida, EUA. En dicho proyecto, mediante modelos de decisión se desarrollaron estrategias para determinar las asignaciones de agua con costo mínimo, cumplir con la demanda urbana y agrícola, a la vez que restringir el impacto ambiental a niveles aceptables. Debido a la gama de posibles estrategias de asignación de agua, se utilizaron modelos de optimización (con programación lineal) para seleccionar las opciones con mínimos costos. Los modelos de decisión (programación integral mixta, MIP) identificaron las alternativas costo-efectivas que además minimizaron el impacto ambiental, como es la intrusión salina al acuífero (Demas et al. 2000).

En México los modelos de optimización relacionados al agua se han aplicado en estudios de redes de abasto urbano en enfoques de infraestructura hidráulica principalmente (Tzatchkov y Izurieta-Dávila, 1996, Sanvicente-Sánchez y Frausto-Solís, 2000). El acuífero de la Costa de Hermosillo, Sonora fue modelado para calcular el comportamiento de diferentes razones de bombeo mediante optimización (Howe, 1979).

Aplicaciones de CALVIN

Por su parte, los resultados del desarrollo y aplicación del modelo de optimización económico-ingenieril CALVIN (California Value Integrated Network) al sistema de abastecimiento y manejo del agua del estado de California, ha demostrado ser una herramienta útil en la identificación de oportunidades de mejora para el manejo de un sistema complejo con propósitos múltiples (Jenkins et al. 2001, Newlin et al. 2002, Draper et al. 2003, Jenkins et al. 2004). En general, se encontraron opciones para la mejora del desempeño de la infraestructura de abasto de agua, de operaciones, asignaciones entre usuarios y reducciones en el costo a los usuarios agrícolas y urbanos para cumplir con flujos ambientales, así como identificación de áreas de oportunidad de ahorros en costos (Jenkins et al. 2004). Otras aplicaciones más recientes incluyen estudios de adaptación al cambio climático (Lund et al. 2003; Medellín-Azuara et al. 2008) y opciones de manejo óptimo para el delta de San Joaquín en California (Lund et al., 2007).

Recientemente, Medellín-Azuara et al. (2007a) aplicaron un análisis de sistemas económico ingenieril usando el modelo CALVIN para los flujos ambientales de Delta del Río Colorado. Se encontró que los flujos ambientales asignados pueden tener mayores impactos en los usos agrícolas que en los urbanos. Los regímenes obligatorios de flujo y los mercados de agua parecen ser estrategias prometedoras entre las alternativas para

restaurar y mantener las funciones de los ecosistemas del Delta del Río Colorado. El aumentar la infraestructura hidráulica y la transferencia de agua desde Estados Unidos no contribuyen en beneficio importante.

Asimismo, el modelo CALVIN ha sido empleado para la región de Ensenada, B.C. en un estudio preliminar (Medellín-Azuara et al. 2007b) para identificar las asignaciones de agua económicamente óptimas entre los usuarios agrícolas y urbanos del agua. Se encontró que tras comparar distintas fuentes de abasto a la ciudad, el reuso de aguas residuales tratadas es una opción económicamente viable, mientras que la desalación de agua de mar requiere combinarse con el reuso para ser económicamente viable. Se comprobó también que bajo los esquemas actuales de uso, y de acuerdo a la proyección de demanda de agua de la ciudad para el año 2020, se requieren encontrar nuevas fuentes de agua de inmediato o implementar medidas de reducción de las extracciones de agua a los acuíferos. En términos de tratamiento de aguas residuales, son necesarias nuevas expansiones de las plantas de tratamiento, de lo contrario, a largo plazo se disminuirá la calidad del tratamiento.

En el estudio mencionado, las estimaciones de demanda urbana se basaron en proyecciones de población para Ensenada y costo de escasez de zonas agrícolas y urbanas equiparables en California. La base de datos al momento del estudio, no permitía estimar la respuesta al precio y el costo de escasez. El presente trabajo mejora la recolección, procesamiento de datos y permite la estimación de parámetros de demanda locales. La hidrología del presente estudio además presenta una mejora substancial respecto a esfuerzos anteriores, al calibrarse a los valores reportados de uso y recarga de agua en acuíferos. No obstante los resultados cualitativos podrían presentar una variación marginal; las mejoras del presente estudio aseguran una estimación cuantitativa más confiable de asignación de agua bajo condiciones optimizadas de operación en la región.

Objetivos

El presente estudio tiene como objetivo general el proponer estrategias de manejo del agua para la zona urbana de Ensenada y zonas agrícolas de Maneadero y Guadalupe, Baja California, mediante los objetivos específicos siguientes:

Recopilar los datos existentes acerca de los uso del agua en la región, por parte de usuarios agrícolas y urbanos.

Integrar una base de datos de usuarios de agua para aplicarla a un modelo de optimización económica.

Caracterizar las alternativas de suministro de agua en términos de factibilidad económica, incluyendo consideraciones sociales y ambientales.

METODOLOGIA

Este capítulo se organiza en dos secciones. La primera inicia con una revisión corta del contexto de los modelos computacionales y por qué se utilizó un modelo de optimización. Se describe el modelo CALVIN y sus definiciones de modelación así como sus limitantes. También se describe la red que compone el sistema de estudio, se especifican las alternativas de abasto que conforman los escenarios de modelación y la manera en que se analizaron las salidas del modelo. En la segunda sección se detalla la obtención de los datos utilizados para generar los parámetros de entrada al modelo presentados como datos agrícolas, urbanos e hidrológicos.

1. Modelación

Enfoque de la modelación

El enfoque de los modelos de optimización, como el que aquí se propone, proporciona resultados del tipo “¿qué es mejor?”. En contraste, los modelos de simulación proveen soluciones del tipo “¿qué pasa si...?”. Para el caso de análisis de sistemas complejos, en que las posibles soluciones a un problema son vastas, la optimización resulta efectiva para identificar soluciones prometedoras en menor tiempo. Los modelos de optimización son adecuados para evaluar las alternativas económicas en las cuales el objetivo es maximizar los beneficios o minimizar los costos totales en un sistema (Labadie, 1997). Del conjunto de posibles soluciones seleccionadas es posible después aplicar modelos de simulación para refinar y probar los resultados (Lund y Ferreira 1996).

Los modelos de optimización se agrupan en dos categorías generales (Labadie, 2004):

- Optimización estocástica implícita. La hidrología proviene de datos históricos o es generada sintéticamente y usada (implícitamente) en modelos de optimización determinístico. Incluyen los modelos de programación lineal, programación de flujos en red, programación no lineal, modelos de programación discreta y diferencial.
- Optimización estocástica explícita. Resuelven programas usando distribuciones de probabilidad de variables aleatorias. Los métodos de restricción de azar,

programación estocástica lineal y dinámica, control estocástico óptimo y optimización multiobjetivo, son ejemplos de éstos.

La programación lineal es uno de los tipos de optimización más común. Este tipo ofrece una solución global óptima. Medellín-Azuara (2006) menciona las ventajas de los modelos de programación lineal: proveen información de sensibilidad en las restricciones del balance de masas y de las capacidades, los códigos para resolver las corridas del modelo son fáciles de obtener y de bajo costo, la formulación del programa de optimización es relativamente simple y su teoría está bien desarrollada. La desventaja es que requieren que su función objetivo y sus restricciones sean lineales (Labadie, 1997) por lo que las funciones de demanda deben ser representadas por secciones lineales. Una forma especializada de programación lineal es la programación de flujo en red (*Network Flow Programming*, NFP). En la programación de flujo en red se utiliza la representación de sistemas hídricos mediante nodos interconectados. Aquí la variable de decisión es el flujo a través de enlaces de dos o más nodos interconectados. El conjunto de restricciones de un NFP incluye un balance de masa de los flujos en todos los nodos, así como las capacidades máximas y mínimas de los enlaces interconectados. Su versión generalizada permite que existan ganancias y pérdidas en cada enlace, que los modelos pueden hacerse dinámicos y que se realicen análisis en varios periodos de tiempo (Tanaka, 2001).

Modelo CALVIN

CALVIN (California Value Integrated Network) es una herramienta basada en la valoración económica de análisis de mercados que aplica la teoría de optimización de flujos en red. El modelo fue desarrollado por un grupo de investigadores de la Universidad de California en Davis. Los primeros reportes del modelo se presentan en Howitt et al. (1999) y más formalmente en Jenkins et al. (2001). CALVIN optimiza al minimizar la suma de los costos de escasez de agua y los costos de operación asociados con las operaciones y asignaciones de agua para maximizar el beneficio económico neto a toda la región en estudio (Jenkins, et al., 2004). Como modelo de optimización con objetivos económicos, el modelo también produce un rango de precios sombra de la disponibilidad de agua y capacidad de las instalaciones (Draper et al., 2003).

El modelo, a menos que sea restringido de otra manera, considera la infraestructura hidráulica y maximiza el valor económico del agua a nivel regional. La búsqueda de objetivos económicos está limitada inicialmente sólo por la disponibilidad de agua, capacidad de las instalaciones y restricciones de flujos ambientales y de control de inundaciones. El modelo puede restringirse aún más para cumplir con ciertas políticas de operación o de asignación (Jenkins et al. 2004). Es posible también aplicar proyecciones de valores económicos de demandas de agua a fin de prescribir operaciones y asignaciones de agua óptimas.

El modelo utiliza el software HEC-PRM, Hydrologic Engineering Center – Prescriptive Reservoir Model (USACE 1994), que contiene un algoritmo que resuelve por optimización un flujo en red con ganancias y pérdidas de masa. Este modelo minimiza el costo en todos los flujos en la red simultáneamente. Cada flujo es ponderado por una unidad de costo que puede variar entre arcos.

Matemáticamente el problema de optimización puede ser expresado por una función objetivo. Esta función define en términos matemáticos la meta que se ha definido: minimizar los costos totales en el sistema. Dichos costos incluyen penalizaciones por no abastecer agua en la cantidad requerida a los usuarios urbanos o agrícolas, así como los costos de operación. Matemáticamente la función objetivo se expresa como:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_i \sum_j c_{ij} X_{ij}$$

Donde,

- Z es el costo total de los flujos a través de la red,
- X_{ij} es el flujo que va del nodo i al nodo j (arco ij)
- c_{ij} son los costos económicos unitarios,

Las restricciones representan los límites físicos e institucionales a los que está sujeta la solución. CALVIN es un modelo en red generalizado porque permite que existan pérdidas o ganancias en sus nexos. De esta manera se establecen en las restricciones límites de flujo mínimos o máximos, así como conservación general de masa (Jenkins et al. 2001). Las expresiones matemáticas de las restricciones son:

Sujeto a: $\sum_i X_{ji} = \sum_{ij} a_{ij} X_{ij} + b_j$ para todos los nodos j
(conservación de masa en cada nodo)

$X_{ij} \leq u_{ij}$ para todos los arcos

$X_{ij} \geq l_{ij}$ para todos los arcos

Donde,

X_{ji} flujo del nodo i al nodo j

b_j flujos externos que entran al nodo j ,

a_{ij} coeficiente de ganancias ó pérdidas de flujo en el arco ij

u_{ij} límite superior de capacidad de flujo en el arco

l_{ij} límite inferior en el arco

El coeficiente de la función objetivo (c_{ij}) así como la expresión al lado derecho de las restricciones son valores de entrada al modelo.

Datos de entrada al modelo y salidas del modelo

Para representar un sistema a ser optimizado, CALVIN requiere una gran cantidad de parámetros físicos y económicos de entrada. Los parámetros físicos incluyen la infraestructura hidráulica, información hidrológica, y restricciones de operación entre los que pueden figurar flujos ambientales mínimos. Los parámetros económicos incluyen funciones de penalización de demanda y costos variables de operación. Las especificaciones relacionadas a la obtención de los datos de entrada se revisarán en la segunda sección de este capítulo.

A partir de estos datos se obtienen como salidas del modelo: series de tiempo mensuales de flujos, almacenamiento, escasez, costos de escasez, valores marginales, y disposición de pago por ampliación de infraestructura o disminución de escasez. Estos son post-procesados y proporcionan información valiosa para mejorar la comprensión de las alternativas en la planeación de políticas y operaciones.

Aplicabilidad y limitantes

El enfoque de optimización aplica para casos en que los problemas 1) están claramente definidos y con objetivos cuantificables, 2) se pueden describir mediante un modelo matemático, 3) tienen la suficiente cantidad de datos disponibles para caracterizar los

efectos de soluciones alternativas y 4) que no se identifica de manera obvia una alternativa (Jenkins et al. 2001).

Todos los modelos requieren simplificación de las condiciones verdaderas de procesos y operaciones de un sistema dado. Se apoyan en la habilidad de cuantificarlos como un conjunto de ecuaciones que se pueden resolver con parámetros especificados apropiadamente y como datos de entrada. Las simplificaciones y la calidad de los datos pueden limitar la interpretación de los resultados del modelo y su aplicabilidad. De acuerdo a Jenkins et al. (2001), las limitaciones de CALVIN provienen de:

Los datos de entrada usados para caracterizar los abastos de agua superficial, subterránea y las demandas, están limitados por su calidad y por restricciones de tiempo del proyecto. Mediante el proceso de calibración, con sus limitantes, se pretende rectificar y resolver inconsistencias.

Simplificación del sistema. El uso de un flujo en red con un código de solución de optimización (HEC-PRM) impone muchas restricciones para poder representar el sistema de manera exacta en el modelo. Algunos de estos casos son: el modelo asume que los cambios operativos y de asignación son posibles institucionalmente, lo cual puede no ser posible. Por otro lado, la calidad del agua no está representada actualmente en este modelo.

La asignación de agua y las decisiones de almacenamiento pueden estar sesgadas por la previsión perfecta del modelo. CALVIN, basado en un registro histórico de hidrología, "conoce" de antemano las variaciones de disponibilidad de agua durante el período de estudio. Aunque en muchos casos esta tendencia no afecta los resultados.

Considerando las limitantes del modelo, los resultados se consideran como guías cualitativas, antes que cuantificaciones precisas. Estos señalan cuáles son las opciones prometedoras para el manejo de agua (Jenkins et al., 2001).

Baja CALVIN

La aplicación del modelo CALVIN en la zona de estudio partió del sistema preliminar descrito en Medellín-Azuara et al. (2007b), el cual se actualizó para incluir nuevas obras

de infraestructura. En lo subsecuente se utilizará el término Baja CALVIN para designar el modelo aplicado en el presente estudio.

El sistema se esquematiza en la Figura 3. Este representa la red de abasto mediante símbolos para distintos tipos de nodos y nexos.

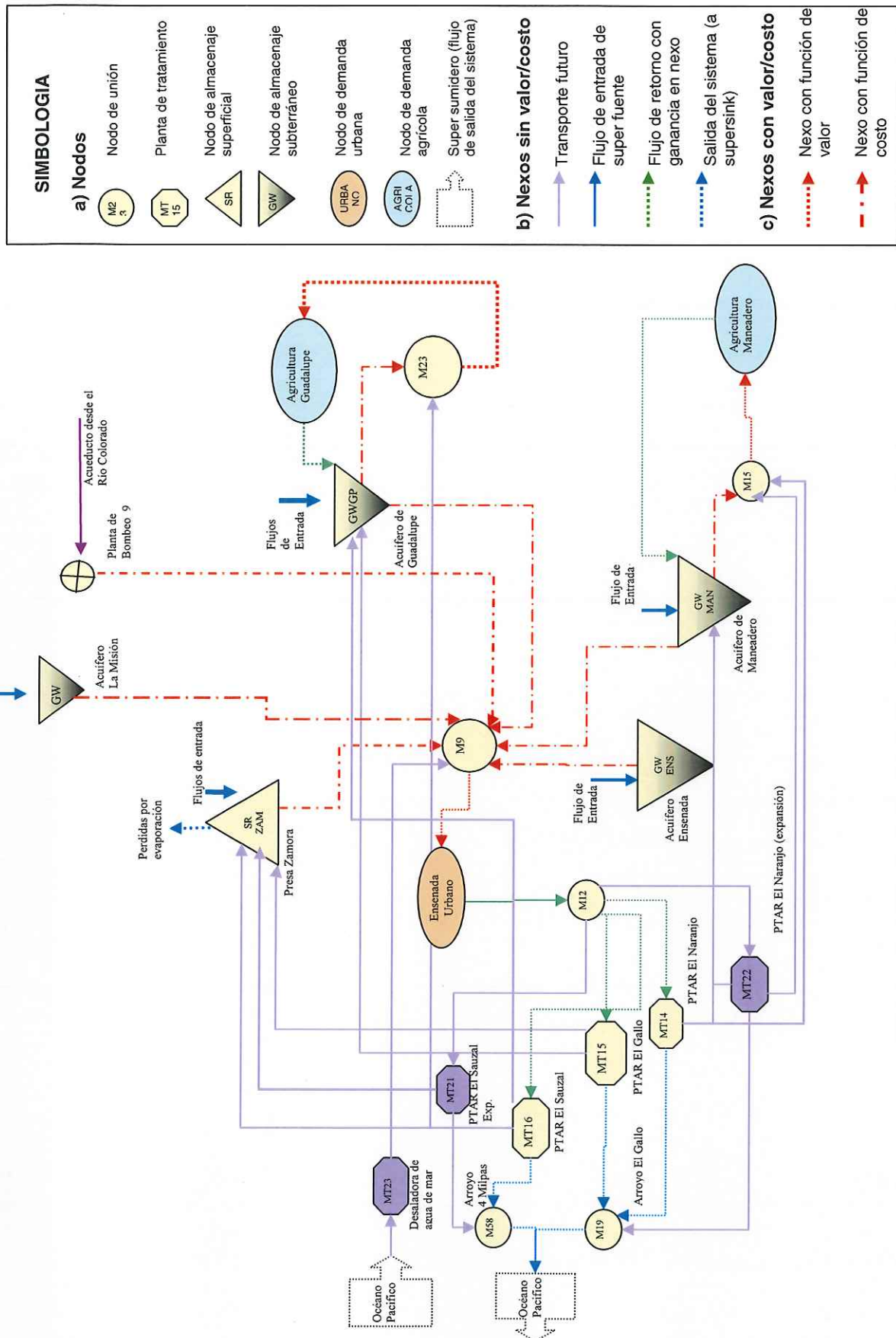


Figura 2. Diagrama del sistema de abastecimiento de agua a la ciudad de Ensenada.

En la Figura 3, los nodos son interconectados mediante nexos que representan flujos de agua con ganancias o pérdidas de agua debidas a eficiencias y evaporación. Se representan distintos tipos de nexos tales como flujos de entrada de agua de una fuente de abastecimiento, flujos de retorno con ganancias, salidas de agua del sistema a un sumidero; así como nexos con funciones atadas con valor y con funciones de costo. La simbología es de acuerdo a Jenkins et al. (2001). El esquema incluye los cuatro acuíferos que abastecen la zona: los acuíferos de Maneadero, Guadalupe, Misión y Ensenada representados por triángulos invertidos. La presa Rodríguez Zamora se representa por un triángulo. El nodo de demanda urbana de Ensenada y los nodos de demanda agrícola de Maneadero y Guadalupe, se representan por óvalos. Las plantas de tratamiento de agua, residual o para desalar están identificadas por octágonos. Las conexiones entre dichos elementos denotan flujos de agua a través de acueductos como el acueducto La Misión – Ensenada y El Hongo-La Misión. Dichos nexos pueden tener costos asociados mediante una función de costo, como el caso de los nexos de los acuíferos y presa al nodo de unión de la demanda urbana (círculo); o el caso de los nexos de los acuíferos que abastecen la demanda agrícola al nodo de unión agrícola. Los nexos también tienen valores asociados mediante una función de valor, como en el caso del nexo del nodo de unión urbana al nodo de demanda urbana. Existen nexos de salida del sistema por ejemplo, los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales a arroyos, o de entrada desde una fuente de abasto.

Alternativas de manejo de agua en Ensenada

A partir de un Caso Base de modelación que representa el manejo actual del abasto de agua, se generaron 15 escenarios más, proyectados a las demandas de agua del año 2025. El caso base considera el abasto único de los acuíferos de Maneadero, Guadalupe, la Misión y Ensenada, así como de la sobreexplotación. Esta última se introdujo como una fuente de abasto hipotético para representar la condición actual de manejo de acuíferos. En el sistema, la sobreexplotación es una fuente de abasto infinito a un costo muy alto. En el caso base (escenario 1) no existe el reuso y los efluentes de las plantas de tratamiento de las aguas residuales son descargadas a los arroyos El Gallo y 4 Milpas.

Políticas de abasto de agua

Se plantean cuatro posibles políticas de manejo de agua, las cuales rinden 16 escenarios resultado de todas las posibles combinaciones de las fuentes, Tabla 2. Dichas políticas se seleccionaron a partir del Estudio de Mercado para las Aguas Residuales para Baja

California (CNA, 2005), así como de los planes de los organismos gubernamentales para aumentar el suministro de agua. Las políticas de abasto son: reuso de aguas residuales tratadas, agua desalada de mar, abastecimiento mediante el acueducto El Hongo-La Misión y la sobreexplotación de acuíferos.

Tabla 2. Políticas de abasto aplicadas en la zona de estudio y sus combinaciones para generar los escenarios de modelación.

Escenario	POLITICAS DE ABASTO			
	Sobreexplotacion de acuíferos	Reuso aguas tratadas	Desalación	Acueducto El Hongo-La Misión
1	•			
2				
3	•	•		
4				•
5	•			•
6	•	•	•	
7		•	•	
8	•	•		•
9	•	•	•	•
10		•	•	•
11		•		
12	•		•	•
13	•		•	
14			•	•
15			•	
16		•		•

Reuso de aguas residuales tratadas

Esta política considera la reutilización de aguas residuales tratadas provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) El Naranjo, El Gallo y El Sauzal, así como los proyectos de expansión de El Naranjo y El Sauzal. El reuso esta destinado en este sistema, al riego agrícola en Maneadero y Guadalupe, a la recarga de los acuíferos Maneadero y Guadalupe y a la recarga de la Presa Emilio López Zamora.

Desalación

La desalación de agua de mar se destina al abasto de la demanda urbana del agua únicamente, considerando que los costos no permiten su consumo agrícola. Se

asume una planta desaladora con una capacidad de 250 lps y costos de tratamiento de \$1300 USD/millar m³.

Acueducto El Hongo- La Misión

Se consideró un acueducto con capacidad de 265 lps a un costo de \$1,500 USD/millar de m³, de acuerdo a los proyectos mencionados por CESPE, CEA y CNA. Este acueducto consiste en la unión del sistema actual que abastece a Tijuana mediante el acueducto Río Colorado- Tijuana por una conexión en el poblado de El Hongo hasta el acueducto que abastece Ensenada desde La Misión.

Sobreexplotación de acuíferos

A fin de representar la condición actual de manejo de agua, fue necesario incluir la sobreexplotación de acuíferos. Actualmente ésta se practica como una política pasiva de manejo de agua para abastecer la zona de estudio.

Modificación del Caso Base

A partir del Caso Base calibrado, que representa el manejo actual del agua, se hicieron modificaciones a la base de datos para representar los 16 escenarios posibles de abastecimiento de agua. Por tanto se contó con 16 conjuntos de modelación representando cada uno de dichos escenarios para ser ejecutados con el HEC PRM del modelo Baja CALVIN.

Post-procesamiento

Ejecutado el modelo, la información generada por las salidas del modelo fueron extraídas para obtener los valores de la disponibilidad a pagar por una unidad adicional de agua (pesos /millar de metros cúbicos), el costo de la escasez (millones de pesos/año), las entregas de agua (millar de metros cúbicos), la demanda de agua (millar de metros cúbicos) y la escasez de agua (millar de metros cúbicos) para cada nodo de demanda de agua.

Dichos indicadores económicos fueron utilizados para caracterizar los escenarios de acuerdo a su desempeño económico. Los escenarios que mostraron los valores menores de costo de escasez, de disponibilidad a pagar (DAP) y escasez fueron considerados como las mejores opciones desde el punto de vista económico para abastecer de agua la zona de estudio.

Para conocer la manera en que Baja CALVIN administra el agua bajo cada escenario entre cada nodo y elementos de la red, se utilizó el software DSS Vue para extraer series de tiempo de flujos mensuales. Las series de tiempo mensuales fueron resumidas en flujos totales y obtenidos los porcentajes de flujos de agua que el modelo asigna entre cada elemento en estudio.

Los siguientes casos fueron analizados para conocer dichas asignaciones de agua, para cada escenario de modelación:

- a) Fuentes de abastecimiento para la:
 - i. demanda urbana
 - ii. demanda agrícola de Maneadero
 - iii. demanda agrícola de Guadalupe
- b) Asignaciones de agua de los acuíferos a la demanda agrícola y urbana.
- c) Asignaciones de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales en los casos de reuso de aguas residuales tratadas.

II. Obtención de datos de entrada al modelo

A. Datos agrícolas

Una función de producción agrícola simplificada implica una relación de la forma:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$$

Donde: y es la producción agrícola en toneladas; x_1 , x_2 , x_3 y x_4 son respectivamente, los factores de producción agrícola: agua, tierra, mano de obra, y otros insumos variables, por unidad de área cultivada de acuerdo a Howitt (2001) y Medellín-Azuara (2006).

Se recabaron datos para definir tal función para la agricultura de Maneadero y la de Guadalupe por separado, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) relativo a los planes de siembra y seguimiento de cosechas para los años 2002, 2003 y 2004. Se consideraron todos los cultivos de riego, así como datos de costos de producción de las zonas agrícolas de Maneadero y Valle de Guadalupe. Debido al enfoque de este estudio y la naturaleza de la información recabada, se consideraron únicamente cultivos de riego. La agricultura de invernadero no es incluida en este estudio puesto que requiere mayor heterogeneidad en la base de

datos para representar dicha tecnología de producción. Al momento, los costos de producción y los niveles de producción y uso de insumos son promedios regionales. La Tabla 3 resume los tipos de datos colectados.

Tabla 3. Tipo de datos colectados relativos a producción agrícola.

Datos	Relativos a	Ciclos
Superficie sembrada (Ha)	Todos los cultivos de riego en Maneadero y Valle de Guadalupe	Otoño-invierno, 2002
Superficie cosechada (Ha)		Primavera- verano, 2002
Precio medio rural (\$pesos/ ton)		Perennes, 2002
Rendimientos (ton/Ha)		Otoño-invierno, 2003
Costos de producción: mano de obra, costo de agua y tierra (\$/Ha)		Primavera- verano, 2003
Subsidios a la agricultura (\$ pesos/ Ha)		Perennes, 2003
		Otoño-invierno, 2004
		Primavera- verano, 2004
		Perennes, 2004

A partir de estos datos se obtuvo la producción total (ton), valor de la producción (\$ pesos) para cada cultivo, para cada año y cada zona agrícola. Estas estimaciones se obtuvieron de la siguiente manera:

$$\text{Producción total, ton} = (\text{Superficie cosechada, Ha}) * (\text{Rendimiento, ton/Ha})$$

$$\text{Valor de la producción, \$} = (\text{Superficie cosechada, Ha}) * (\text{Rendimiento, ton/Ha}) * (\text{Precio medio rural, \$/ton}).$$

La captura y procesamiento inicial para integrar una base de datos se llevaron a cabo en tablas de Microsoft Office Excel 2003.

En cada ciclo de agrícola, la cosecha se lleva a cabo en varios eventos que pueden ir desde uno a cuatro, hasta el cierre del ciclo. Esto implica distintos precios medios rurales y rendimientos, para cada evento. Por tanto, los cálculos de producción total y valor de la producción se llevaron a cabo relacionando cada evento de cosecha, con su respectivo rendimiento y precio medio rural por cada cultivo. En el caso de la agricultura de Maneadero, las condiciones climatológicas favorables permiten cultivos durante dos ciclos: otoño-invierno y primavera-verano.

Selección de cultivos representativos

La construcción de las funciones de producción por cultivo requirió hacer una selección de aquellos más representativos de cada zona. Por tanto, considerando en conjunto los tres años, el criterio de selección fue: los cultivos con mayor aportación al total de la

superficie sembrada, a la producción, al valor de la producción y al consumo de agua. Bajo este criterio, se seleccionaron aquellos cultivos con representatividad mayor al 80% en estas variables, para cada localidad.

Identificados los cultivos de mayor representatividad, para cada cultivo en cada localidad se obtuvo siguiente información:

Valor total de subsidios del gobierno, \$ pesos

Rendimiento, ton/Ha

Costos de factores de producción: costo de la renta de tierra, \$/Ha; costo por jornal, \$/jornal y costo de extracción del agua, \$/ 1000m³

Cantidad de uso total de dichos factores de producción: Superficie sembrada, Ha; Mano de obra, número de jornales

Volumen de agua aplicada por cultivo, millar de m³

Distribución mensual en porcentaje de volumen de agua aplicada a cada cultivo por cada año.

Estimación del valor económico del agua de uso agrícola

La base de datos obtenida y los cálculos realizados para el presente estudio se utilizaron en la estimación de la demanda agrícola para Guadalupe y Maneadero mediante el modelo Statewide Agricultural Production o SWAP de Howitt (2001) como parte de Medellín-Azuara et al. (2008). El modelo SWAP utiliza programación matemática positiva que estima de manera deductiva el valor económico del agua restringiendo la disponibilidad del agua y usando un multiplicador LaGrange en dicha restricción. Se construye una curva de demanda derivada de los conjuntos obtenidos de multiplicadores y después es integrada numéricamente para proveer los costos de escasez requeridos por CALVIN, siguiendo los métodos descritos en Medellín-Azuara, (2006) y Medellín-Azuara et al. (2008). Las funciones de demanda y de costo de escasez agrícola generadas mediante el modelo SWAP fueron usadas como datos de entrada al modelo.

B. Datos urbanos

Los datos para describir el uso del agua por la parte urbana se obtuvieron principalmente de la Comisión Estatal de Servicios Públicos y Alcantarillado de Ensenada (CESPE) y la Comisión Nacional del Agua (CNA). La Tabla 4 resume los tipos de datos que se recolectaron.

La Tabla 5 y Tabla 6 presentan los listados de todos los cultivos existentes para cada zona, respectivamente en los años 2002 al 2004.

Tabla 5. Listado de los cultivos de Maneadero en el periodo 2002 – 2004.

HORTALIZAS		PERENNES	OTROS
Albahaca	Kale	Aguacate	Frijol
Apio	Lechuga	Alfalfa	Cebada forrajera
Betabel	Lechuga baby	Espárrago	Avena forrajera
Brócoli	Leek	Eucalipto	
Calabacita	Napa	Flor	
Cebolla	Papa	Limón	
Cebollín	Pepino	Mandarina	
Cilantro	Perejil	Naranja	
Coliflor	Rabanito	Nogal	
Chicharo	Repollo	Nopal	
Chile	Sandia	Olivo	
Ejote	Tomatillo	Pasto rye grass	
Haba	Zanahoria	Toronja	
Jitomate suelo	Haba	Zarzamora	
Jitomate vara	Maíz forraje y elote		

Maneadero presentó un total de 48 cultivos distintos: 30 cultivos de hortalizas, 15 de perennes y 3 de forrajes y grano. A partir del año 2004 se encontraron cultivos de invernadero en baja proporción.

Tabla 6. Listado de los cultivos de Valle de Guadalupe en el periodo 2002 – 2004.

HORTALIZAS		PERENNES		OTROS
Albahaca	Jitomate vara orgánico	Aguacate	Olivo	Frijol
Apio	Kale	Alfalfa	Palma orgánica	Avena forrajera
Berenjena	Lechuga	Algarrobo	Pera	Cebada forrajera
Betabel	Leek	Almendro	Pistacho	Pasto forrajero
Brócoli	Maíz (forraje verde)	Ciruelo	Toronja	
Calabacita	Maíz elote	Chabacano	Vid, mesa y vino	
Cebollín	Maíz baby	Durazno		
Cilantro	Melón	Eucalipto		
Coliflor	Napa	Flor		
Chicharo	Papa	Limón		
Chicharo orgánico	Pepino	Mandarina		
Chicharo orgánico, vaina	Pepino orgánico	Manzano		
Haba	Perejil	Membrillo		
Haba orgánica	Rabanito	Naranja		
Chile	Repollo	Nectarina		
Ejote	Repollo orgánico	Nogal		
Ejote orgánica	Sandia	Nopal		
Espinaca	Tomatillo			
Jitomate suelo	Zanahoria			
Jitomate vara				

La agricultura de Valle de Guadalupe presentó un total de 67 cultivos: 39 de hortalizas, 24 perennes y 4 de forrajes y granos. Se encontró que existe mayor grado de especialización de los cultivos dada la producción de hortaliza orgánica, con mayor valor económico en el mercado y cultivo de invernadero. El cultivo en invernadero estaba presente desde el primer año observado, y es mucho más extenso que en Maneadero, sin embargo al momento no es parte de la valoración económica del agua en el presente estudio.

Los datos de producción agrícola se resumen en la Tabla 7 para Maneadero y en la Tabla 8 para Guadalupe.

Tabla 7. Resumen de producción agrícola de Maneadero.

	CICLOS	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción (ton)	Valor de la Producción (\$ pesos)
2002	Otoño- invierno	437.0	437.0	7,309.5	\$ 31,404,269.28
	Primavera- verano	1,120.5	541.5	16,868.0	\$ 48,047,177.69
	Perennes	578.5	278.5	3,935.9	\$ 29,160,568.30
	TOTAL 2002	2,136.0	1,257.0	28,113.4	\$ 108,612,015.27
2003	Otoño- invierno	804.0	708.0	10,657.2	\$ 59,117,903.84
	Primavera- verano	745.5	734.5	18,311.7	\$ 47,888,300.36
	Perennes	599.5	599.5	2,263.7	\$ 28,840,833.41
	TOTAL 2003	2,149.0	2,042.0	31,232.5	\$ 135,847,037.61
2004	Otoño- invierno	775.0	775.0	10,392.4	\$ 94,352,654.99
	Primavera- verano	871.0	832.0	25,341.9	\$ 79,077,311.07
	Perennes	594.7	470.8	3,577.7	\$ 35,083,330.67
	TOTAL 2004	2,240.7	2,077.8	39,311.7	\$ 208,513,296.72
	GRAN TOTAL	6,525.7	5,376.8	98,657.6	\$ 452,972,349.60

En Maneadero la superficie total sembrada por año fue mayor a 2,000 Ha, de éstas sólo en los años 2003 y 2004 se cosecharon una cantidad similar. La disminución de la superficie cosechada durante el 2002 es debida principalmente a caídas del precio medio rural de algunos de los productos. Se observa también que la mayor producción corresponde a los cultivos cíclicos (otoño-invierno, primavera-verano). Los cultivos perennes reúnen una baja proporción del total de superficie, producción y valor de producción en Maneadero.

Tabla 8. Resumen de producción agrícola de Valle de Guadalupe

	CICLOS	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción (ton)	Valor de la Producción (\$pesos)
2002	Otoño- invierno	202.0	202.0	1,947.6	\$ 12,062,238.75
	Primavera- verano	339.0	235.0	2,913.1	\$ 10,479,745.78
	Perennes	3,190.5	2,231.0	14,308.2	\$ 64,314,942.56
	TOTAL 2002	3,731.5	2,668.0	19,168.8	\$ 86,856,927.08
2003	Otoño- invierno	180.0	160.0	1,679.2	\$ 64,314,942.56
	Primavera- verano	415.0	415.0	4,960.3	\$ 47,893,708.35
	Perennes	1,984.5	1,984.5	12,716.2	\$ 59,274,349.45
	TOTAL 2003	2,579.5	2,559.5	19,355.7	\$ 171,483,000.35
2004	Otoño- invierno	86.0	77.0	714.5	\$ 4,369,703.85
	Primavera- verano	445.0	424.0	5,064.1	\$ 147,299,881.65
	Perennes	3,311.5	2,231.0	19,970.1	\$ 78,818,864.67
	TOTAL 2004	3,842.5	2,732.0	25,748.7	\$ 230,488,450.17
	GRAN TOTAL	10,153.5	8,721.0	64,273.2	\$ 488,828,377.61

En el caso del Valle de Guadalupe, la superficie agrícola de riego es mayor que la de Maneadero, con un promedio total de mas de 3,400 Ha. Los cultivos perennes son los que representan la mayor superficie de siembra y mayor producción. Sin embargo, el valor de la producción obtenido en los cultivos cíclicos, en conjunto de las dos estaciones, supera en los años 2003 y 2004 al resultado de la venta de la producción de los perennes. En los cultivos cíclicos, la producción de otoño-invierno siempre es menor que la de primavera-verano, aunque representa mayores ingresos. Existe un incremento sobresaliente en el valor de la producción del ciclo primavera-verano 2004 debido al alza del precio medio rural del jitomate.

A pesar de que la superficie de siembra en Guadalupe es mayor que en Maneadero, el volumen de producción siempre fue mayor para Maneadero en los tres años observados, así como también lo fue el valor de la producción, con excepción del 2004.

Selección de cultivos representativos

A fin de establecer las funciones de producción por cultivo, se hizo una selección de los cultivos que representen más del 80% en superficie sembrada, producción, valor de la producción y consumo de agua. El consumo de agua se estimó considerando las láminas de agua requeridas por cada cultivo en relación a la superficie sembrada. La selección de cultivos representativos para cada zona se muestra en la Tabla 9 y Tabla 10. Las tablas muestran valores acumulados de los años 2002 al 2004 para todas las variables.

Tabla 9. Selección de cultivos representativos de Maneadero.

	SELECCION DE CULTIVOS	SUPERFICIE SEMBRADA, Ha	PRODUCCION, ton	VALOR DE LA PRODUCCION, \$pesos	CONSUMO DE AGUA, millar de m ³
1	Alfalfa	489.3	4,452.6	5,864,113.7	4,212.9
2	Brócoli	215.0	2,654.2	12,907,063.0	1,118.0
3	Calabacita	335.5	4,158.3	15,667,517.0	2,080.1
4	Cebollín	312.0	6,163.1	43,344,990.5	2,121.6
5	Chicharo	761.0	5,653.0	76,098,513.0	4,946.5
6	Chile	173.0	3,196.5	17,465,804.9	1,211.0
7	Espárrago	192.9	1,047.5	30,456,728.82	3,551.2
8	Flor	633.0	6,341.2	51,563,150.45	2,532.0
9	Jitomate	1,348.5	46,126.2	86,439,930.60	9,169.8
10	Olivo	837.0	1,079.9	2,976,235.80	3,138.0
11	Rábano	252.0	3,757.5	15,056,184.50	1,008.0
	Total Selección	5,549.2	84,630.0	357,840,232.27	35,089.1
	Total Maneadero 2002-2004	6,525.7	98,657.6	452,972,349.60	40,975.6
	% Representación	85%	86%	79%	86%

En el caso de Maneadero, el jitomate de suelo representa el cultivo más extensamente sembrado, seguido del olivo. En relación a las toneladas de producción, el jitomate es el de mayor producción y el que ofrece los mayores ingresos. La flor – que representa una amplia variedad de tipos de flores- le sigue en volumen de producción y en ingresos. El cultivo de mayor consumo de agua es el jitomate de suelo debido a que a éste le corresponde mayor superficie de riego.

Para el Valle de Guadalupe (Tabla 10), la vid es el cultivo más extensamente sembrado, seguido del olivo. La mayor producción le corresponde a la vid, así como el mayor valor de producción y consumo de agua. El jitomate de vara, con mucha menor superficie de siembra y menor producción, rinde ganancias similares al de la vid en este periodo de estudio.

Tabla 10. Selección de cultivos representativos para Valle de Guadalupe.

	CULTIVO	SUPERFICIE SEMBRADA, Ha	PRODUCCION ton	VALOR DE LA PRODUCCION, \$ pesos	CONSUMO AGUA, millar de m ³
1	Alfalfa	777.0	5,952.2	\$ 7,646,026.48	6,690.0
2	Calabacita	128.0	1,638.7	\$ 9,938,449.43	818.4
3	Chile	110.0	986.8	\$ 18,298,047.18	770.0
4	Flor perenne	141.0	2,848.9	\$ 74,985,397.36	1,015.2
5	Jitomate vara	488.0	5,612.2	\$ 112,043,914.00	2,548.8
6	Jitomate suelo	82.0	1,180.8	\$ 78,922,672.00	537.2
7	Jitomate organico	77.0	1,999.6	\$ 4,392,420.00	576.0
8	Olivo	2,942.0	941.7	\$ 3,148,280.00	11,032.5
9	Vid vino y mesa	4,208.0	30,206.5	\$ 114,457,884.43	22,680.0
Total Selección		8,953.0	51,367.2	423,833,090.88	46,668.1
Total Guadalupe 2002-2004		10,153.5	64,273.2	488,828,377.61	56,912.3
% Representación		88%	80%	87%	82%

Costos de producción agrícola

Insumos de producción

Los costos de producción incluyen los costos variables únicamente. Engloban los costos de semilla, fertilizantes, control de plagas y enfermedades. Dichos costos corresponden a las estimaciones de SAGARPA (2002, 2003, 2004) para cada cultivo de la selección. Los costos de producción de la selección agrícola de Maneadero presentan ligeras variaciones durante los tres años (Tabla 11).

Tabla 11. Costos anuales de producción para la selección de cultivos de Maneadero.

CULTIVO	COSTOS ANUALES DE PRODUCCION (\$pesos/ ha)		
	2002	2003	2004
Alfalfa	\$ 40.25	\$ 40.25	\$ 40.25
Brócoli	\$ 641.50	\$ 672.80	\$ 737.00
Calabacita	\$ 928.20	\$ 928.20	\$ 961.90
Cebollín	\$1,587.20	\$ 1,595.40	\$ 1,644.40
Chicharo	\$ 437.20	\$ 437.20	\$ 456.60
Chile	\$ 533.50	\$ 533.50	\$ 597.70
Espárrago	\$ 161.12	\$ 161.63	\$ 162.41
Flores	\$ 823.64	\$ 835.17	\$ 875.85
Olivo	\$ 153.00	\$ 152.00	\$ 165.00
Rábano	\$ 576.55	\$ 584.62	\$ 613.10
Tomate	\$1,378.00	\$ 1,485.40	\$ 833.10

Los cultivos más costosos son el cebollín, debido al alto precio de la semilla, y el tomate debido a que ésta variedad requiere iniciar a partir de material vegetativo el cual es más costoso que la semilla.

En el caso de los costos de producción agrícola de Guadalupe, los más altos son los de las flores y el tomate orgánico (ver Tabla 12). El encarecimiento de la producción se debe al elevado volumen de fertilizantes e insecticidas que requiere el cultivo de flores, mientras que para el tomate orgánico, la calidad orgánica de dichos aditivos son de costo elevado. Los costos menores corresponden a los cultivos perennes tales como alfalfa, olivo y vid.

Tabla 12. Costos anuales de producción de la selección de cultivos de Guadalupe.

CULTIVO	COSTOS ANUALES DE PRODUCCION (\$pesos/ha)		
	2002	2003	2004
Alfalfa	\$ 46.00	\$ 46.00	\$ 46.00
Calabacita	\$ 928.20	\$ 928.20	\$ 961.90
Chile	\$ 533.50	\$ 533.50	\$ 597.70
Flores	\$ 8,500.00	\$ 8,600.00	\$ 8,900.00
Olivo	\$ 153.00	\$ 152.00	\$ 165.00
Tomate orgánico	\$ 1,337.36	\$ 1,337.36	\$ 1,449.00
Tomate suelo	\$ 777.30	\$ 777.30	\$ 833.10
Tomate vara	\$ 969.10	\$ 969.10	\$ 1,050.00
Vid	\$ 240.59	\$ 240.59	\$ 240.59

Otros costos

La mano de obra aplicada a cada cultivo se presenta en la Tabla 13 expresada en número de jornales por hectárea, para cada localidad. El costo del jornal fue de \$100 pesos en los años 2002 y 2003, mientras que en el 2004 fue de \$110 pesos para ambas localidades (SAGARPA, 2002,2003, 2004).

Tabla 13. Mano de obra y su costo para los años 2002 al 2004.

CULTIVO	MANO DE OBRA ANUAL (jornales/ha)	
	Maneadero	Guadalupe
Alfalfa	13	13
Brocoli	90	
Calabacita	82	41 *
Cebollin	104	
Chicharo	218	
Chile	40	40
Esparrago	71	
Flores	85	90
Olivo	10	10
Rabano	70	
Tomate	108	150
Tomate suelo		54
Tomate orgánico		75
Vid		50

* La calabacita en Guadalupe es un cultivo con un solo ciclo por año, mientras que en Maneadero se cultiva durante dos ciclos al año.

El costo de la tierra se obtuvo por comunicación personal con el personal técnico de SAGARPA que está en contacto directo con los agricultores, así como de agricultores de las localidades.

El costo promedio por hectárea de la tierra para agricultura en Maneadero se estimó en \$1,200 USD y de \$1,500 USD en Guadalupe y se mantuvo constante durante los años de estudio.

Costo de Agua

El costo del agua se obtuvo de los estimados de SAGARPA considerando el consumo energético de la extracción de pozos por hectárea irrigada (Tabla 14) (SAGARPA, 2004).

Tabla 14. Costos de energía eléctrica por la extracción de agua de subterránea.

Año	Costo de electricidad en la extracción de agua (\$/millar de m ³)
2002	\$ 1,390.00
2003	\$ 1,550.00
2004	\$ 1,660.00

Consumo de Agua

El volumen de agua consumido por cultivo se obtuvo mediante las láminas de riego y consumos de agua por hectárea recomendada por INIFAP y SAGARPA para cada cultivo y ajustada de acuerdo al testimonio de los agricultores (Tabla 15). El caso del riego de los cultivos perennes: alfalfa, olivo y vid, incluye cifras que representan hasta un 30% menos de agua de la cantidad recomendada debido a la escasez del agua y al alto costo de extracción bajo el que actualmente se opera (Camacho, A., Com. Pers., 24 de septiembre 2006).

Tabla 15. Requerimientos de agua por cultivo.

Cultivo	Consumo de agua (m ³ / ha)
Alfalfa	8,610
Brócoli	5,200
Calabacita	6,394
Cebollín	6,800
Chicharo	6,500
Chile	7,000
Espárrago	18,410
Flor	4,000
Flor perenne	7,200
Jitomate organico	7,481
Jitomate suelo	6,551
Jitomate vara	5,223
Olivo	3,750
Rábano	4,000
Vid vino y mesa	5,390

La obtención de los datos requeridos para generar las funciones de escasez y la recopilación de datos que definen el modelo local, representó dificultad, especialmente los relacionados a los costos de cultivo. La disponibilidad de datos técnicos de producción es más accesible. Muchos de los costos de los principales cultivos no se han documentado y se requirió la participación directa de los productores.

Valor económico del agua de uso agrícola

La aplicación del modelo SWAP en Medellín-Azuara et al. (2008), proveyó de valores sombra o marginales para el uso agrícola del agua en Maneadero y Guadalupe. Se encontraron valores de \$72 y \$125 USD/ millares de m³ respectivamente, bajo una disponibilidad completa de agua. Dichos valores fueron utilizados para obtener funciones de demanda de agua que actualizaron la base de datos del modelo. Los resultados de esta estimación demuestran que el agua vale para la agricultura más de lo que el agricultor promedio paga. El Anexo II presenta mayores detalles de los resultados obtenidos.

B. Usuarios urbanos del agua

Tarifas por consumo de agua

Se obtuvieron los datos de la estructura tarifaria para el municipio de Ensenada para el período 2000 al 2005, según fueron publicados en el Periódico Oficial del Estado de Baja California (1999 al 2004). Dichas publicaciones establecen las tarifas a cobrar por rangos de consumo de agua por los usos domésticos y no domésticos para el mes de enero del respectivo año entrante. Las tarifas de los meses subsecuentes se calcularon mediante ajustes con el Índice Nacional de Precios al Consumidor, que publica el Banco de México, según lo especifica la propia publicación.

Se recopiló también el consumo de agua e ingresos percibidos por la venta del agua de CESPE, de acuerdo a los rangos de consumo de agua, de manera mensual en el periodo del 2000 al 2005 por tarifas residencial, comercial e industrial. La tabla 16 presenta los volúmenes consumidos por tipo de uso, acumulado en el año 2005. La demanda de agua se proyectó para el año 2025 usando las estimaciones de CESPE y el Consejo Nacional de Población.

Tabla 16. Volúmenes de agua consumida por tipo de usuario.

Uso	Volumen (miles m ³)
Residencial	13,400
Comercial	1,170
Industrial	830
Total	15,409

El principal uso del agua en la ciudad de Ensenada es el residencial, mientras que el comercial e industrial representan una fracción muy pequeña. Esto se debe a que el tipo de industria en la ciudad es de tipo ligero, principalmente actividades de ensamble en maquiladoras. El tipo de uso comercial puede estar ligado a las actividades de turismo, por lo que representa mayor consumo de agua que la industria.

El volumen de aguas residuales generadas por cada planta de tratamiento se presenta en la Figura 4. La grafica corresponde a promedios para cada mes de los años 2000 al 2005.

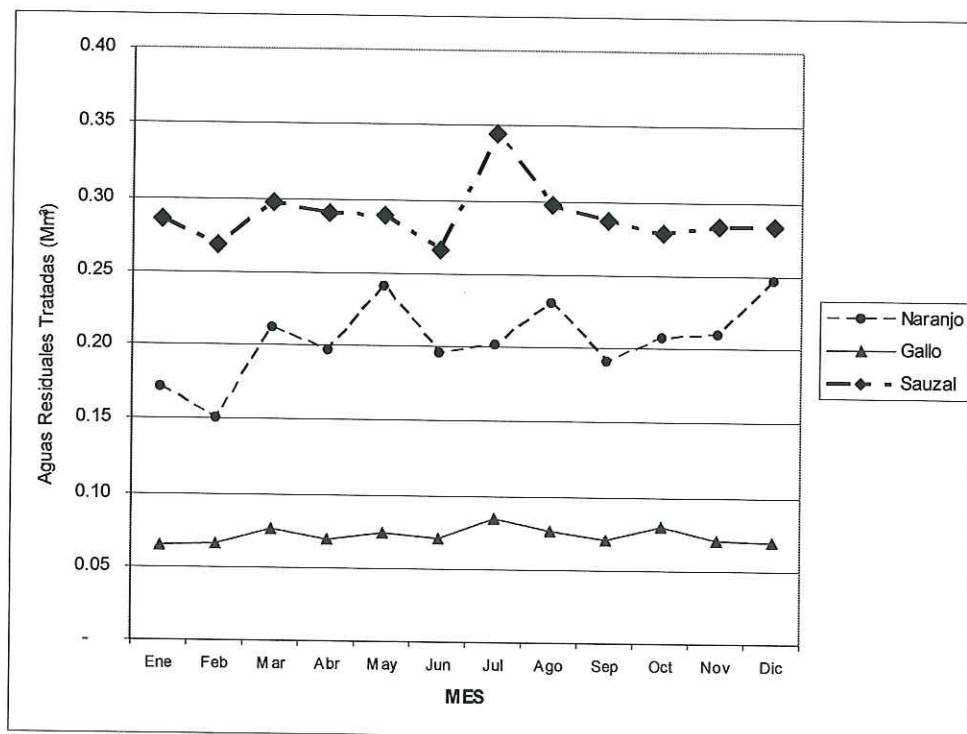


Figura 4. Volumen de aguas residuales generadas por cada planta de tratamiento.

El volumen de generación de aguas residuales tratadas representa un total de alrededor de 6 Mm³ anuales. La PTAR El Naranjo es la que maneja el mayor volumen de aguas residuales tratadas, seguida de la planta El Gallo y El Sauzal. En general hay una tendencia a ligeros aumentos en el volumen de generación durante los meses de verano.

Las especificaciones de infraestructura en relación a su capacidad y costos de operación, así como la identificación de todos los elementos del sistema en red, se incluyen en el Anexo I.

Valor económico del agua de uso urbano

Mediante la aplicación del modelo econométrico en Medellín-Azuara et al. (2008) se obtuvo una demanda de agua de precio-elasticidad por cada estación del año. De ahí se construyó una función de demanda con elasticidad constante. De la que se obtuvieron los costos económicos de la escasez urbana. Más detalles respecto a los resultados obtenidos al aplicar dicho modelo se presentan en el Anexo II.

II. Ejecución del modelo

Esta sección presenta los resultados de la ejecución del modelo. Primeramente se presentan las salidas del modelo con los indicadores económicos de desempeño mediante los cuales se priorizaron los escenarios. Enseguida se analizaron las asignaciones de agua entre los usuarios para comprender las implicaciones del manejo de agua bajo cada escenario. Finalmente, se discuten aspectos de manejo sustentable del agua de cada política para plantear una propuesta de manejo de agua.

A. Escasez y costos de escasez

De la ejecución del modelo se obtuvieron los costos de escasez de agua, la disponibilidad a pagar y la escasez para el uso urbano en Ensenada, y el agrícola en Maneadero y Valle de Guadalupe. La Tabla 17 muestra dichos valores para cada escenario.

Tabla 17. Indicadores de desempeño económico por escenario, para cada zona de demanda. Ens = uso urbano en Ensenada, Man= uso agrícola en Maneadero, Gpe= uso agrícola en Guadalupe). D.A.P. = disponibilidad a pagar por mil metros cúbicos adicionales de agua.

Escenario	Política dominante	Costo de Escasez (\$M pesos/año)				D.A.P. (\$pesos/1000m ³)			Escasez (Mm ³ /año)			
		En s	Man	Gpe	TOTAL	Ens	Man	Gpe	En s	Ma n	Gp e	TOTAL
3	Sobreexplotación de acuíferos	-	-	1.0	1.0	-	-	173.6	-	-	1.2	1.2
6		-	-	1.0	1.0	-	-	173.6	-	-	1.2	1.2
8		-	-	1.0	1.0	-	-	173.6	-	-	1.2	1.2
9		-	-	1.0	1.0	-	-	173.6	-	-	1.2	1.2
5		-	-	1.3	1.3	-	-	219.6	-	-	1.5	1.5
12		-	-	1.3	1.3	-	-	219.6	-	-	1.5	1.5
1		-	0.9	1.5	2.4	-	539.0	249.7	-	1.0	1.5	2.5
13	Reuso	-	1.5	1.3	2.7	-	874.2	219.6	-	1.6	1.5	3.1
7		-	0.3	3.9	4.2	-	329.0	508.8	-	0.4	3.8	4.2
11		-	0.3	3.9	4.2	-	329.0	508.8	-	0.4	3.8	4.2
10		-	0.3	3.9	4.20	-	330.5	508.8	-	0.4	3.8	4.2
16		-	-	4.5	4.5	-	-	589.5	-	-	4.2	4.2
4	Acueducto	-	2.7	6.8	9.5	-	1,221.7	786.8	-	2.6	5.8	8.3
14		-	2.7	6.8	9.5	-	1,221.7	786.8	-	2.6	5.8	8.3
2	Desal. / Nada	-	30.6	6.8	37.4	-	2,347.6	786.8	-	14.2	5.8	20.0
15		-	30.6	6.8	37.4	-	2,347.6	768.8	-	14.2	5.8	20.0

de la agricultura de Maneadero a la escasez del agua frente a la de Guadalupe, y el efecto del alto costo de operación del acueducto en el patrón de escasez.

B. Asignaciones de agua

La Tabla 18 presenta las asignaciones de agua entre la demanda urbana y agrícola a partir de las fuentes de abastecimiento disponibles, según los escenarios planteados. Dichas asignaciones están dadas en porcentajes de contribución para satisfacer la demanda de cada tipo de usuario.

Tabla 18. Asignación de agua entre el uso urbano y agrícola. Los guiones (-) indican cuándo una opción no está disponible, de acuerdo a la definición de cada escenario.

Política dominante	% CONTRIBUCION AL ABASTO URBANO Demanda: 20.6 Mm³										% CONTRIBUCION AL ABASTO AGRICOLA DE MANEADERO Demanda: 15.9 Mm³					% CONTRIBUCION AL ABASTO DE AGRICULTURA DE GUADALUPE Demanda: 17.5 Mm³				
	ACUIFEROS				Sobreexplotacion	Presa Zamora	Desaladora	Acueducto	Sobreexplotacion	Acuífero Maneadero	PTAR El Naranjo	PTAR El Gallo	PTAR El Naranjo	Acuífero de Guadalupe	PTAR El Naranjo	PTAR El Gallo	PTAR El Sauzal			
	Guadalupe	Misión	Maneadero	Ensenada																
Escenario	1	3	6	8	9	5	12	13	7	10	11	16	4	14	2	15				
Sobreexplotacion de acuíferos	31	23	22	20	1	3	0	-	9	91	-	-	-	59	41	-	-			
	0	21	51	19	0	8	-	-	0	39	61	0	0	7	76	17	0			
	0	21	51	19	0	8	0	-	0	39	61	0	0	7	76	17	0			
	0	21	51	19	0	8	-	-	0	39	61	0	0	7	76	17	0			
	0	21	51	19	0	8	0	0	0	39	61	0	0	7	76	17	0			
Reuso	0	21	10	19	0	3	-	47	0	100	-	-	-	22	78	-	-			
	0	21	12	17	0	3	0	47	0	100	-	-	-	22	78	-	-			
	0	21	56	19	0	3	0	-	65	35	-	-	-	22	78	-	-			
	0	24	50	18	-	8	0	-	-	26	73	0	0	-	85	15	0			
	0	24	50	18	-	8	0	0	-	30	70	0	0	-	85	15	0			
Acued	0	24	50	18	-	8	-	-	-	26	73	0	0	-	85	15	0			
	0	24	50	18	-	8	-	0	-	25	74	0	0	-	88	12	0			
	0	24	12	15	-	3	0	47	-	100	-	-	-	-	100	-	-			
Desal / Nada	0	24	58	15	-	3	0	-	-	100	-	-	-	-	100	-	-			
	0	24	58	15	-	3	0	-	-	100	-	-	-	-	100	-	-			

La tabla presenta para cada tipo de usuario del agua, urbano o agrícola, y para cada escenario, las fuentes de abasto de agua que potencialmente pueden aportar dependiendo del escenario en cuestión. Cada fuente contribuye con un porcentaje a las entregas totales.

La demanda urbana de Ensenada es de un total de 20.6 Mm³ anuales y cuenta con la posibilidad de abastecerse de los cuatro acuíferos, de la sobreexplotación –que es una fuente hipotética-, la presa Rodríguez Zamora, la desaladora y el acueducto El Hongo-La Misión.

La demanda agrícola de Maneadero se estima en 15.9 Mm³ anuales. Sus fuentes de abasto son el acuífero de Maneadero, la sobreexplotación y las plantas de tratamiento El Naranjo, su expansión y El Gallo.

La demanda de Guadalupe se estima en 17.5 Mm³ anuales y está enlazada al abasto del acuífero de Guadalupe, la sobreexplotación y el reuso de las aguas residuales tratadas de El Naranjo, El Gallo y El Sauzal.

Todos los volúmenes de demanda están de acuerdo a las proyecciones de crecimiento urbano al año 2025.

De manera similar a la Tabla 17, las aportaciones de cada fuente se agrupan ahora de acuerdo a su similitud en la distribución de las fuentes. Como en el caso anterior, resaltan cuatro grupos de escenarios. Dentro de cada grupo de escenarios, las decisiones de asignación entre las fuentes son casi idénticas debido a que una de las políticas de cada grupo domina las asignaciones.

1. Manejo del agua urbana

Como antes se estableció, el escenario 1 representa el patrón de entregas al uso urbano de Ensenada y agrícola de Maneadero y Guadalupe bajo condiciones de operación actuales. En este caso (Tabla 18), la zona urbana se abastece de los cuatro acuíferos en proporciones casi iguales, una mínima parte procede de la presa y se permite la sobreexplotación. Dicha sobreexplotación requiere del 1% del total del 20.6 Mm³ para abastecer totalmente su demanda. En este escenario, la agricultura de Maneadero y

Guadalupe no logran satisfacer totalmente las demandas mediante sus respectivos acuíferos, por lo que recurren a un 9% y 59% de sobreexplotación, respectivamente. De esta manera, bajo las condiciones actuales de manejo de agua la sobreexplotación podría significar un total de casi 12 Mm³/año.

Exceptuando el caso anterior, en todos los escenarios, las siguientes fuentes nunca contribuyen al abasto urbano debido a que no son viables económicamente bajo ninguna combinación de fuentes de abasto:

Sobreexplotación de acuíferos para uso urbano. El costo de sobreexplotar es mayor que el beneficio urbano obtenido, por lo que no se utiliza para el abasto urbano.

Desalación. Esta fuente de abasto no ofreció alguna ventaja económica sobre las demás opciones de abasto, por lo que el modelo no utilizó esta fuente. Si bien la tecnología de la desalación ha permitido disminuir costos, para el caso de esta zona de estudio aun no logra competir con el resto de las políticas. El costo por metro cúbico de agua desalinizada aquí es de \$1.3 USD/m³.

Acuífero de Guadalupe. El aprovechamiento de este acuífero implica costos de extracción altos que exceden los beneficios económicos del aprovechamiento urbano. Bajo todos los escenarios, este acuífero aportó únicamente a su agricultura correspondiente. Como se verá mas adelante, el valor agrícola de esta fuente es mayor que el urbano.

a) Usos urbano/ agrícola

Los casos más severos de sobreexplotación se presentaron en las corridas con desalación, acueducto y sobreexplotación permitidas. En estos casos, la demanda agrícola de Maneadero y Guadalupe alcanzan una sobreexplotación de hasta un 65% y 22% respectivamente, lo que significa cerca de 14 Mm³/año.

A nivel de asignaciones urbanas, la política de reuso aparenta no tener efectos notables. Este conjunto de escenarios (7, 10, 11 y 16) se diferencia de los demás por recibir siempre el 50% de su abasto del acuífero de Maneadero, 24% del acuífero La Misión y un 18% del de Ensenada. El abasto de la presa es el más alto entre las opciones sustentables, con el 8% de contribución. Estas asignaciones varían poco en relación a las

políticas con desaladora y no hacer nada. Sin embargo, este grupo de escenarios presenta la ventaja de que debido a que están aportando un flujo de aguas tratadas a las entregas de agua para satisfacer la demanda agrícola de Maneadero y de Guadalupe, los respectivos acuíferos pueden asignar mayores flujos a las actividades agrícolas. Los efectos económicos de la mayor disponibilidad de agua para las actividades agrícolas se observaron en la Tabla 17.

El reuso de aguas residuales tratadas tiene un efecto poco evidente en las asignaciones urbanas de agua (Tabla 18); sin embargo, el reuso significa mejoras en el desempeño económico de la agricultura al disminuir los costos de escasez de casi \$37 Mpesos/año a cerca de \$4 Mpesos/año y disminución de la escasez en una quinta parte (Tabla 17), así como modificaciones en las asignaciones de agua procedentes de los acuíferos, como se verá más adelante.

b) Abasto urbano por el acueducto

El efecto de la introducción de agua del acueducto para abasto urbano (escenarios 4 y 14) genera un comportamiento muy distinto en las asignaciones en relación a los otros escenarios. En este caso, debido a que el agua importada se asigna directamente al uso urbano, representan los casos en que el acuífero de Maneadero contribuye con la menor cantidad de agua (12%). Esto libera a dicho acuífero para abastecer la agricultura correspondiente. Sin embargo, el valor de dicha agua importada es muy alto, como se mencionó anteriormente.

c) Abasto procedente de acuíferos

El acuífero de Maneadero es, en la mayoría de los escenarios, el principal proveedor de agua al abasto urbano, con un aporte entre el 50 y 58%. Sólo en los casos en que se introduce el abasto mediante el acueducto, el acuífero de Maneadero deja de ser la principal fuente de abasto y su aporte alcanza tan sólo un 10 a 12%, mientras que del acueducto se eleva a 47%. Esto implica un beneficio a la agricultura de Maneadero al liberar agua del acuífero para uso urbano y con ello disminuir la escasez agrícola de 14.20 a 2.59 Mm³/año, así como el costo de la escasez y la disponibilidad a pagar (escenarios 4, 14, 2 y 15).

El acuífero de La Misión aporta en todos los escenarios sin sobreexplotación un 24%, mientras que el de Ensenada contribuye entre un 15 y 18% al abasto urbano. Estos dos acuíferos se mantienen dentro de esos rangos de variación a través de todos los escenarios. El hecho de que éstos son de uso urbano exclusivo explica porque son poco afectados por el cambio de políticas: no existen conflictos de asignación entre el uso urbano y agrícola. Es importante resaltar que el acuífero Ensenada se encuentra actualmente listado como sobreexplotado y con intrusión salina (CNA, 2005b). La disminución de las tasas de extracción reflejadas en el porcentaje de aportación a la demanda urbana entre los escenarios 1 (caso actual) y el resto de los escenarios es en promedio un 4%, que puede significar la recuperación del acuífero en el largo plazo.

d) Abasto procedente de la presa

El abasto procedente de la presa Rodríguez Zamora presenta un aporte bajo al abasto urbano en general, entre 0.6 y 1.6 Mm³ anuales. Su contribución máxima es del 8% en presencia de la política de reuso, y un 3% en el resto de las opciones. Esta diferencia se debe a que entre las opciones de reuso consideradas aquí, se incluye la recarga de la presa, de manera que se aumenta la disponibilidad del recurso.

Actualmente, la ciudad se abastece del agua de la presa principalmente durante los meses de verano en que la demanda del agua es mayor. Dado que la temporada de lluvias es en invierno, ésta se recarga y almacena hasta el siguiente periodo de verano. El volumen que durante este verano 2007 contribuyó al abasto urbano fue a razón de 120 lps (Lamas, 2007b), lo cual equivale a 0.96 Mm³/ año (considerando sólo 120 días correspondientes al verano). Dicha cifra representa cerca del 4% del abasto total urbano, lo cual coincide con las estimaciones aquí obtenidas.

e) Abasto procedente de la desaladora

La demanda urbana del agua nunca se abasteció de la desaladora, mostrando siempre valores de cero, independientemente del escenario. Bajo los costos actuales de desalación, esta opción no ofrece ventajas económicas que justifiquen su aplicación al abasto. La desalación es una opción tan costosa en relación a las opciones existentes, que el modelo asume como mejor opción el no hacer nada.

2. Abasto agrícola

En la Tabla 18, el abasto a la agricultura depende de la disponibilidad de la opción a sobreexplotar o al reuso de agua, debido a que estas son sus únicas posibilidades de abasto alternativo a las aguas subterráneas. La activación de las opciones acueducto y desaladora en el abasto urbano afectan en poca medida la asignación del abasto agrícola. De esta manera, los escenarios con acueducto, desalar o el no hacer nada, obtuvieron resultados idénticos asignando la totalidad del abasto agrícola procedente únicamente de cada acuífero correspondiente. Si bien los porcentajes de asignación son idénticos, las diferencias en términos de desempeño económico si son importantes de acuerdo a lo mencionado anteriormente.

Cuando existe la opción de reusar aguas residuales tratadas (escenarios 7, 10, 11 y 16), la agricultura de Maneadero se abastece principalmente de la PTAR El Naranjo –en un 70 a 74%- y el agua subterránea deja de ser la principal fuente. Las PTAR El Gallo y El Naranjo expansión no aportan agua para reuso. Este resultado es de esperar debido a que los costos de transferencia de las plantas a los sitios de reuso varían, y los de la planta El Naranjo son los más bajos. En el anexo 1 se presentan los costos relacionados al tratamiento y transferencia de las plantas de tratamiento a cada sitio de reuso.

La agricultura de Guadalupe bajo los esquemas de reuso se alimenta principalmente del acuífero (85%), y en segundo término de la PTAR El Naranjo, a pesar de que la PTAR El Sauzal se encuentra más cerca. Similar al caso anterior, es la planta El Naranjo la que ofrece menores costos de tratamiento y transferencia debido al alto volumen que maneja.

En cuanto a la factibilidad de reuso en relación a su calidad, los efluentes de las PTARs de Ensenada han sido monitoreados y se ha demostrado que particularmente la calidad del efluente de la PTAR El Naranjo cumple con todos los requisitos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, lo que se hace posible su reuso en irrigación y potencial uso en recarga de acuíferos (Rivera-Cárdenas, 2006).

3. Asignaciones de los acuíferos

La Tabla 19 presenta los porcentajes que los acuíferos de Maneadero y Guadalupe asignan al abasto urbano y agrícola bajo los 16 escenarios planteados. En el escenario 1, caso base, se asigna un 24% del abasto del acuífero de Maneadero al uso urbano y el 76% a la agricultura. Para el acuífero de Guadalupe es la única ocasión en que asigna un

porcentaje (49%) al abasto urbano, como antes se mencionó. En lo subsiguiente, este acuífero asigna toda su capacidad de abasto económicamente viable a la agricultura de Guadalupe puesto que allí es donde se obtiene el mayor beneficio económico.

Tabla 19. Asignaciones por cada acuífero al abasto urbano o agrícola.

Escenarios	Política de abasto	% ABASTO DEL ACUIFERO MANEADERO A:		% ABASTO DEL ACUIFERO GUADALUPE A:	
		USO URBANO ENSENADA	USO AGRICOLA MANEADERO	USO URBANO ENSENADA	USO AGRICOLA GUADALUPE
1	Sobreexplotación	24	76	49	51
3		63	37	0	100
6		63	37	0	100
8		63	37	0	100
9		63	37	0	100
13		70	30	0	100
5		11	89	0	100
12		13	87	0	100
7	Reuso aguas tratadas	72	28	0	100
10		72	28	0	100
11		72	28	0	100
16		72	28	0	100
4	Acued	15	85	0	100
14		15	85	0	100
15	Desal/ Nada	88	12	0	100
2		88	12	0	100

En relación a las entregas del acuífero de Maneadero, existen diferencias marcadas en las asignaciones entre uso urbano y agrícola. Los escenarios de sobreexplotación con reuso (3, 6, 8, 9) dirigen la mayor cantidad hacia el abasto urbano, mientras que en la sobreexplotación sin reuso (escenarios 5, 12) se invierte la proporción. De manera similar ocurre en los casos de reuso sin explotación (7,10,11,16) . El comportamiento se explica debido a que el ingreso adicional de agua tratada para riego agrícola libera al acuífero de una parte de la demanda y puede asignar una mayor cantidad a la demanda urbana (72%).

consecuencias inaceptables ambientales, económicas o sociales. Como es sabido, la falta de un manejo sustentable de los acuíferos produce efectos negativos como disminución de la capacidad de almacenamiento y del nivel freático, reducción de flujos en ríos y niveles de lagos, pérdida de humedales y ecosistemas riparios, subsidencia de tierra, intrusión salina y cambios en la calidad del agua además de los efectos en las facetas sociales, económicas y legales (Alley et al.1999). Algunos de estos efectos negativos ocurren actualmente en la zona de estudio.

El Plan de Manejo Integral del Acuífero de Maneadero (CNA, 2003) menciona que en el acuífero de Maneadero la sobreexplotación se inició a partir de 1971, cuando la tasa de extracción del acuífero superó la de la recarga de manera consistente en el tiempo. Se estima una sobreexplotación promedio de 7 Mm³ anuales. En el análisis de costo beneficio de la sobreexplotación, se estiman los costos a través de los incrementos en el consumo energético para la extracción, de la reducción de la eficiencia del acuífero, la pérdida de la reserva de agua y la pérdida de la calidad del agua. Los beneficios de la sobreexplotación son obtenidos por la producción agrícola. Se identificó que los beneficios netos comenzaron a ser negativos a partir de 1984. A pesar de ello, la sobreexplotación se ha mantenido en dicho acuífero, y posiblemente dada la pérdida de beneficios, se recurrió a la sobreexplotación del acuífero de Ensenada.

Los motivos que originan la sobreexplotación, de acuerdo a Hardin (1968) provienen de la condición que supone el tener acceso abierto y una demanda sin restricciones a un recurso finito y común, en este caso el agua subterránea. Esto ocurre debido a que los beneficios de la explotación del acuífero por cada individuo o grupos, aumentan para cada uno de ellos, mientras que los costos de la sobreexplotación son distribuidos por todos los que disponen del recurso. De esta manera cada individuo es motivado a maximizar el uso del acuífero ocasionando que la demanda del recurso aumente y genere a su vez mayor sobreexplotación hasta agotar el recurso. Es por ello necesaria la implementación de medidas de control sobre su administración.

En el intento de administrar la explotación de acuíferos de manera racional, las instituciones han fallado debido a un marco económico e institucional inadecuado (Young,

2005). Las características de las instituciones económicas que gobiernan la explotación de los recursos comunes, es el tema fundamental en la administración de acuíferos.

Las fallas de las instituciones públicas implican que sus intervenciones lleven a soluciones que no son las socialmente óptimas (i.e. situaciones en las que los beneficios netos en la sociedad son maximizados). Algunos de las dificultades de los servicios del sector agua son:

Metas privadas de los agentes públicos o "internalidades". El sistema de la institución de servicios de agua provee las motivaciones, recompensas y penalizaciones por el desempeño individual. Ejemplos de ello son la maximización de presupuestos, soluciones técnicas caras e inapropiadas, incluso el no cumplimiento de los deberes. Las agencias suelen adoptar soluciones de "calidad técnica" como metas por sí mismas, cuando existen opciones igualmente confiables y más económicas. Por ejemplo, el dar prioridad a la instalación de una desaladora de agua de mar cuando no se han agotado los esfuerzos por administrar y aprovechar mejor el agua con la que ya se cuenta en el sistema de abasto.

Externalidades de acción pública. Los proyectos del sector público pueden ser una fuente de externalidades, esto es, generar costos o afectar el bienestar a otras entidades sin asumirlo ni considerarlo.

Distribución inequitativa del poder de abasto. El control del monopolio de las fuentes de abasto de las instituciones públicas provee poder a ciertos grupos o a individuos sobre el bienestar de los usuarios del agua.

Ejemplificando las dificultades mencionadas, en México, donde las actividades agrícolas consumen el 80% del agua subterránea, las concesiones de explotación de acuíferos están apenas vigiladas, existe sobreconcesión y se favorece la demanda excesiva de agua por subsidios a la electricidad (Muñoz-Piña et al. 2006). Debido a los subsidios, los agricultores al bombear agua subterránea, pagan menos de 1/5 parte del costo de generar y distribuir electricidad, debido a ello no existen incentivos por mejorar la tecnología de irrigación o aplicar el agua en cultivos que requieran menos agua. En

adición, los subsidios están concentrados en unos pocos agricultores con altos ingresos (Muñoz-Piña et al. 2006b). Los subsidios favorecen también la existencia de cultivos de bajo a nulo beneficio económico. En el caso en Maneadero, este tipo de cultivos representan un alto consumo de agua, que equivale hasta del 20% de la recarga del acuífero (CNA, 2003). Existe la propuesta de reajustar las tarifas eléctricas agrícolas ("tarifa 9") con lo que se estima que se disminuiría en promedio la sobreexplotación de acuíferos entre un 15% y un 19%, se incentivaría la reconversión tecnológica hacia sistemas de riego y de bombeo más eficientes, induciría un cambio en el patrón de cultivos hacia aquellos menos intensivos en agua y disminuiría la demanda de agua y de energía eléctrica (Muñoz-Piña et al. 2006). Si bien el sistema actual de apoyos a la agricultura favorece la ineficiencia, la eliminación de la "tarifa 9" conllevaría conflicto social. Para ello es necesario identificar un esquema gradual y asistido para implementar una medida un tanto extremosa. También sería necesario un marco sustentable de medios e incentivos que aseguren la equidad social para evitar que los pequeños productores con menores ingresos, sean los más afectados. En general, esta opción requiere una consideración cuidadosa por parte de todas las partes afectadas.

La experiencia de otras regiones del mundo que enfrentan escasez y sobreexplotación, muestra que la presencia de un contexto legal robusto, sin un contexto institucional igualmente sólido a nivel del usuario, no resuelve el problema de la sobreexplotación. Esta labor se complica aun más cuando existe una categorización marcada en el tipo de usuarios (World Bank, 2005). El Banco Mundial recomienda el manejo a nivel de usuarios de igual nivel ("peer-level management"), bajo la supervisión del gobierno como el esquema que tiene las mejores posibilidades de éxito. Los COTAS (Comités Técnicos de Aguas Subterráneas) establecidos por la Ley de Aguas 1992 es un ejemplo de este tipo de organización, que aunque establecidos, requieren de mayor compromiso y apoyo por parte de las instituciones.

El caso de la sobreexplotación del acuífero del Valle de Guadalupe y el efecto a las actividades agrícolas que dependen de éste es un tema sensible en el Estado. Existen tensiones entre los productores agrícolas del Valle de Guadalupe debido a los efectos negativos que ha generado la sobreexplotación del acuífero en cuestión. En el Programa de Ordenamiento Ecológico del Valle de Guadalupe se identificaron los efectos de la sobreexplotación del acuífero tales como: abatimiento del nivel freático, disminución de la rentabilidad de la producción agrícola debido al aumento de costos de extracción de agua, el deterioro de la calidad del agua, daño a la vegetación y paisajística natural. Se proponen en éste Programa políticas, lineamientos y estrategias para

aprovechar el recurso de manera sustentable (Leyva et al., 2004). Mendoza- Espinosa et al. (2005) plantean la necesidad de retornar el agua extraída al Valle mediante el reuso de agua residual tratada destinada al riego agrícola y la recarga del acuífero, dado que la calidad de tratamiento de dichas aguas lo permite. Por otro lado, Badan et al. (2005), recomiendan disminuir inicialmente hasta detener la transferencia de agua a Ensenada, la adecuación periódica de las concesiones de agua de acuerdo a la disponibilidad real del agua, reestablecer la autoridad del COTAS, mejorar el entendimiento de la dinámica del acuífero e incrementar la recarga del acuífero para favorecer su recuperación, entre otras medidas. Esta condición revela la urgente necesidad de establecer prioridades en los proyectos para abastecer de agua a Ensenada.

b) Reuso

i. Irrigación agrícola con aguas residuales tratadas

La opción del reuso de aguas residuales tratadas ofreció los menores costos y volumen de escasez de agua a las agriculturas de Maneadero y Guadalupe. Esta definición de reuso implica, de acuerdo a los resultados del modelo, que las aguas residuales tratadas provienen de la PTAR El Naranjo, asignando la mayor parte para abastecer la agricultura de Maneadero, de Guadalupe, seguido por recargas al acuífero de Maneadero y por último a la presa.

El reuso agrícola es la principal aplicación de las aguas residuales tratadas. En México es una práctica que se lleva a cabo de manera extensiva en cinco distritos de riego que aprovechan las aguas residuales crudas para irrigar campos de cultivo. Dichos distritos se encuentran en Chihuahua, Hidalgo, Puebla y Estado de México (CNA, 2005b). Jiménez et al. (2000) mencionan que en adición al reuso directo agrícola, se lleva a cabo reuso indirecto al recargarse de manera incidental los acuíferos que subyacen los campos agrícolas a razón de 2500 lps.

En el estado de California, EE.UU., se reusan cerca de 649 Mm³/año de aguas tratadas en una variedad de maneras, siendo la irrigación agrícola la principal. Se aplica en al menos 20 variedades de cultivos de consumo humano, incluyendo vegetales que se consumen crudos como el apio y lechuga. También se aplica en 11 cultivos no comestibles, como forraje, alimentos para ganado y productos de viveros. Otros usos incluyen la irrigación de áreas verdes, uso industrial, recarga de acuíferos, barrera contra

intrusión salina, estanques recreativos, uso ambiental en hábitats silvestres y producción de energía (California State Water Resources Control Board, 2003).

Localmente, el reuso en la agricultura de Maneadero ha estado en discusión desde varios años atrás debido a un convenio firmado en 1974 entre el Gobierno Federal, Estatal y los usuarios de los ejidos Chapultepec y Sánchez Taboada (Maneadero). En el convenio se acordó que el gobierno utilizaría agua proveniente del acuífero de Maneadero para apoyar el suministro de agua potable a Ensenada, a cambio de que los usuarios de los ejidos recibieran agua previamente tratada, para usos agrícolas. El agua tratada se estuvo suministrando hasta 1992, y a la fecha se espera que en el corto plazo se reestablezca este intercambio de agua (CNA, 2003b). Actualmente las obras de construcción de un acueducto que conectará los efluentes de la planta El Naranjo a la zona agrícola de Maneadero están en su fase final. Este proyecto incluye un acueducto de 30 pulgadas de diámetro, con una capacidad máxima de 500 lps, y un tanque de regulación con capacidad de 2,000 m³. El acueducto tiene la capacidad de conducir la totalidad de los efluentes de la PTAR El Naranjo hacia la zona agrícola de Maneadero (CESPE, 2007; Córdova, 2007). El uso previsto de esta agua es para cultivos que no sean de consumo humano directo, tales como forrajes, árboles frutales y flores.

Calidad del efluente

Se ha demostrado que la calidad del efluente de la PTAR El Naranjo cumple con las normas para reuso agrícola y para actividades de contacto humano indirecto (Mendoza-Espinosa et al. 2004, Rivera-Cárdenas, 2006). Debido a que la mayoría de la producción agrícola de este valle es exportada a California, Estados Unidos, es necesario que se consideren también los Criterios del Estado de California. Dentro de estos criterios, el efluente en cuestión cumple con la calidad suficiente para ser usada en cultivos de forraje, fibras, cultivos de siembra, productos procesados con riego superficial y productos procesados con riego con aspersores (Rivera- Cárdenas, 2006).

De acuerdo a los registros consultados en SAGARPA, durante la obtención de datos de producción agrícola, en Maneadero la mayoría de la irrigación de forrajes se lleva a cabo mediante riego por aspersión, mientras que los cultivos de hortalizas utilizan principalmente riego por goteo. El riego por gravedad no es muy común en esta región, por lo que técnicamente, los agricultores cuentan con los medios de riego adecuados. Si

se utilizara el agua en riego de productos de consumo directo, sería necesario mejorar su calidad microbiológica (Rivera-Cárdenas, 2006). Esto es factible debido a que la planta de tratamiento cuenta con un equipo de filtración por arenas sin uso, que permitiría refinar la calidad al disminuir los sólidos suspendidos totales, y los microorganismos asociados, a la vez que disminuiría la obturación de los sistemas de riego (Ramírez-Acosta y Mendoza-Espinosa, 2005, Asano et al., 2007). La apertura de esta oportunidad de reuso en irrigación puede proveer la justificación económica para aplicar este tratamiento para refinar la calidad del agua.

Un tema sensible en la calidad del efluente mencionado es la concentración de los SDT (sólidos disueltos totales) en los efluentes de la planta de tratamiento. Se ha encontrado un valor promedio de 1,341 mg/L de SDT, y en el agua de abasto proveniente del acuífero de Maneadero existen pozos que exceden las 2000 mg/L SDT, debido a la intrusión salina (Mendoza-Espinosa et al., 2004); por ello el efluente no tiene un valor mayor del que se usa actualmente en la agricultura. Sin embargo, se debe considerar que estos valores representan restricciones de uso de ligera a moderada, por su potencial de tapar los sistemas de irrigación por goteo, así como de limitar los cultivos debido a la sensibilidad de algunos de ellos a altas concentraciones de SDT (Asano et al., 2007). Se recomiendan medidas de control mediante monitoreo de la acumulación de sales en la zona de raíces de los cultivos y su lixiviado a las aguas subterráneas para asegurar la sustentabilidad del sistema de reuso. En Israel, donde existe una larga experiencia de irrigación con aguas de reuso, se ha implementado gradualmente el control de las descargas a drenaje y en los detergentes se ha sustituido el sodio por potasio y calcio. Esto ha resultado en la disminución gradual de los SDT en los efluentes. Otros enfoques para controlar los STD incluyen la mezcla con aguas con bajos SDT o bien tratamiento adicional para eliminarlos mediante desalación.

Entre los tratamientos capaces de disminuir los SDT en aguas tratadas se encuentran la nanofiltración, ósmosis inversa, y electrodiálisis (Asano, 2007). Los sistemas más efectivos para la remoción de los sólidos disueltos son la nanofiltración y la ósmosis inversa, ambos métodos aplican el mismo principio al aplicar presión para generar un flujo de agua a través de una membrana de una porción más concentrada a una menos concentrada. La diferencia entre los métodos radica en el tipo de membranas utilizadas y

su capacidad de rechazo de ciertas sales y flujos, sin embargo la ósmosis inversa es el proceso más efectivo en la remoción de sales con eficiencias de 95 a 99.5%. La nanofiltración logra remover entre 50 a 90%, dependiendo del tipo de membrana. La aplicación exitosa de este tratamiento implica el adecuado manejo previo a este paso. Algunas de las características del agua de alimentación para ósmosis inversa y nanofiltración deben considerar (Asano, 2007):

Sólidos suspendidos que pudieran obstruir las membranas

Materia orgánica que promuevan la degradación de las membranas

Hierro y magnesio para evitar precipitados

Aceites y grasas que degraden membranas

Algunas recomendaciones para el reuso en irrigación

Considerando las recomendaciones de Asano (2007), para la aplicación del agua tratada en el riego agrícola con aguas tratadas en el Valle de Maneadero es necesario considerar lo siguiente:

Monitoreo para asegurar la salud pública y crecimiento saludable de los cultivos. La frecuencia del monitoreo depende del riesgo asociado con la aplicación de reuso, el tamaño del proyecto, la población expuesta. La Tabla 21 presenta requerimientos típicos de frecuencia de monitoreos por parámetro.

Tabla 21. Recomendaciones de monitoreo y frecuencia de muestreo es sistemas de reuso para irrigación (el uso en cultivos para consumo humano puede requerir mayor frecuencia y parámetros de monitoreo).

Parámetro	Agua residual cruda y tratada	Suelos receptores	Acuífero somero
Coliformes totales	Semanal a Mensual	-	Semestral
Turbidez	Continuo para irrigación sin restricciones		
Cloro residual	Continuo para irrigación sin restricciones		
Volumen	Mensual	Anual	Semestral
Nivel de agua	-	-	Semestral
pH	Mensual	Anual	Semestral
Sólidos suspendidos	Mensual	-	Semestral
Sólidos disueltos totales	Mensual	-	Semestral
Conductividad eléctrica	Mensual	Semestral	Semestral
DBO	Mensual	-	-
Amonio	Mensual	-	Semestral
Nitritos	Mensual		Semestral
Nitratos	Mensual	Anual	Semestral
Nitrógeno total	Mensual	Semestral	Semestral
Fosfatos (solubles)	Mensual	Semestral	Semestral
Solutos principales (Na, Ca, Mg, K, Al)	Trimestral	-	-
Cationes intercambiables	-	Anual	-
Elementos traza	-	Anual	-

(Lazarova et al. 2004)

Se requieren dos puntos de control en el monitoreo: 1) en el punto donde el agua tratada sale de la planta de tratamiento, y 2) en el punto final de uso. El análisis de la calidad debe hacerlo un laboratorio certificado. Debido a que la zona de irrigación se encuentra sobre el acuífero de Maneadero y éste es no confinado, es necesario incluir un programa de monitoreo del acuífero.

Otras consideraciones necesarias para la operación del reuso agrícola son:

Administración de la demanda y oferta. En virtud de las fluctuaciones de oferta de aguas tratadas, de las demandas de los productores agrícolas y sus variaciones de acuerdo a la estación del año, es necesario prever la disponibilidad del recurso. Es común que se

efectúen mezclas de agua de otras fuentes para compensar el faltante. Esto favorece la confiabilidad del sistema y mejora la calidad del agua de irrigación.

Administración de nutrientes. Es necesario definir las razones de fertilización necesarias de acuerdo al tipo de cultivo y condiciones locales. Es posible que la necesidad de fertilizantes sea reducido de manera importante o incluso eliminados. El monitoreo del contenido de nitrógeno es importante debido a que niveles elevados (entre 5 y 30 mg N/L) pueden afectar de manera adversa las cosechas, su acumulación en forrajes ocasiona efectos negativos de salud en rumiantes. Similarmente, el monitoreo y control de los niveles de fósforo es importante para evitar su acumulación en el suelo, éste puede afectar a algunos cultivos sensibles a las altas concentraciones de fósforo.

Protección de salud pública. La exposición a aguas de reuso debe controlarse mediante normatividad y vigilancia para minimizar los riesgos potenciales al público y agricultores. Los controles comunes son mediante métodos de irrigación, distancia de los asentamientos humanos y la hora de la irrigación.

Consideraciones de las fuentes del agua. El monitoreo y control de la calidad de la fuente de agua inicial es importante para mantener la calidad aceptable en los efluentes para reuso. Por ejemplo la acumulación de los sólidos disueltos totales (SDT). Concientización de agricultores. Los agricultores que trabajen de manera directa en el riego deben estar concientes del tipo de agua que están usando y aplicar medidas higiénicas para el control de riesgos.

Es necesario que los agricultores del Valle de Maneadero cuenten con la guía necesaria, para llevar a cabo el reuso en irrigación de manera informada y eficiente. Existe numerosa bibliografía relacionada a la experiencia de reuso agrícola.

ii. Recarga de acuíferos

Los proyectos de recarga artificial de acuíferos tienen el propósito de reducir, detener, incluso revertir la declinación de los niveles acuíferos; proteger de la intrusión salina a acuíferos costeros; almacenar agua superficial derivada de excedentes, para usos futuros. Esta política no se encuentra aun desarrollada en México. Existe un proyecto de norma (PROY-NOM-014-CNA-2003) que plantea los requerimientos de calidad de agua

necesarios para llevar a cabo la recarga de acuíferos. Sin embargo sus límites son similares a aquellos necesarios para potabilizar agua, lo cual implica altos costos de tratamiento. A la fecha, no existe una norma oficial aprobada para tales fines.

Por otro lado, la tecnología para la recarga artificial esta bien desarrollada y se ha probado alrededor del mundo. En Estados Unidos, desde 1960 se aplica la recarga artificial. Actualmente existen proyectos de recarga mediante cuencas de infiltración en Mesa, Arizona; Los Angeles, California y Winter Garden, Florida, así como proyectos de inyección directa en El Paso, Texas; Orange County, California y Carson, California (Asano, 2007). Alrededor del mundo existen numerosos casos de aplicación de diversas tecnologías de recarga de acuíferos con aguas residuales tratadas para distintos usos (Tabla 22).

Tabla 22. Casos de recarga de acuíferos alrededor del mundo (Fuentes: Ayuso-Gabella, et al. 2007; Borrás, et al. 2007; LeCorre et al, 2007).

Localidad	Uso	Agua utilizada en la recarga	Método de recarga
Torreele/ Wulpen, Bélgica	Potable indirecto	Aguas residuales con tratamiento terciario por ultrafiltración y ósmosis inversa.	Filtración en dunas de arena
Sabadell, España	Riego de áreas verdes y limpieza de calles	Aguas residuales municipales con tratamiento secundario por lodos activados	Mezcla con agua de río e infiltración en cuenca de río
Costa Brava, Girona, España	Potable, riego agrícola, uso industrial	Tratamiento secundario con remoción de nutrientes (fósforo, nitrificación, desnitrificación) filtración por arena y desinfección con rayos UV	Infiltración en lecho de río
Nardó, Italia	Barrera contra intrusión salina, agua para beber	Tratamiento secundario por lodos activados	Inyección a zona vadosa
Shafdan, Israel	Irrigación (se logra con calidad para consumo directo de manera no intencional)	Tratamiento secundario	Tratamiento suelo – acuífero (SAT)
Gaobeidian, Beijing, China	-	Tratamiento secundario con lodos activados, tratamiento terciario: coagulación, sedimentación, filtración por arenas. Ozonificación.	Filtrado lento por arena e inyección en pozo

Entre los distintos métodos de recarga artificial, las lagunas de infiltración es el método más simple, antiguo y usado. Este método utiliza la capacidad depuradora del suelo. El agua se infiltra a través de la zona vadosa, alcanza la zona del acuífero, y se mueve dentro de éste por cierta distancia. Este proceso de tratamiento natural es llamado Tratamiento de Suelo-Acuífero (SAT). Es aplicable cuando los suelos para llevar a cabo la depuración son arenosos y uniformes, y las condiciones climatológicas lo favorecen. Rivera-Cárdenas (2006) aplicó el proyecto de norma PROY-NOM-014-CNA-2003 a los efluentes de la PTAR El Naranjo para evaluar su cumplimiento y encontró que la calidad del agua para recarga a acuíferos no se satisfacen en los siguientes parámetros: bacterias coliformes fecales (BCF), metales pesados, DBO y SDT. Sin embargo el tratamiento posterior mediante el mencionado filtro de arenas, corregiría las faltas en la calidad, a excepción de los SDT. Dicho proyecto de norma sólo establece una sola calidad como requisito para la recarga, la cual por sus altos estándares semeja el tratamiento necesario para efectuar recarga directa por inyección, y no un caso de infiltración superficial. En éste último caso, se aprovecha la capacidad depuradora del suelo, por lo que la calidad no requiere ser tan alta.

El Plan de Manejo Integral del Acuífero de Maneadero, establece prioridades para la ejecución de proyectos relacionados con el reuso del agua residual tratada (CNA, 2003b):

En principio, el agua residual tratada se destinará, en la medida de su calidad y la infraestructura de distribución lo permita, a satisfacer las demandas potenciales de los sectores usuarios público, industrial y agrícola.

En segundo término, de existir aguas residuales remanentes, éstas deberán de recibir un tratamiento complementario que asegure que su inyección al acuífero, no represente un riesgo futuro para las reservas estratégicas de agua para consumo humano.

Esta estrategia, en tanto no exista el soporte institucional necesario, es difícil que en el corto a mediano plazo pueda ser parte de un manejo integrado del agua en la región.

Una consideración adicional es la de la necesidad de ordenar los cambios en el uso de suelo que se están efectuando con gran rapidez hacia la urbanización de ambas zonas agrícolas. Este hecho requiere atención debido a su potencial para impactar la calidad de

La principal limitante a la aplicación de dicha tecnología ha sido el costo energético y, en el caso de los métodos de ósmosis inversa, el rápido deterioro de las membranas. Sin embargo, se ha progresado mucho en los últimos 30 años, llegando a la capacidad de producir agua a precios competitivos para las zonas que sufren los peores casos de escasez. A partir del 2005, se ha experimentado alrededor del mundo un auge en el establecimiento de plantas desaladoras de gran escala. El caso más sobresaliente es el de la planta en Ascalón en Israel, con una capacidad de casi 400,000 m³/día, y plantas con capacidades de hasta 800,000 m³/día están en desarrollo en Arabia Saudita (Wangnick, 2005). El principal desarrollo de plantas desaladoras se ha originado en el medio oriente, debido a la grave escasez de agua y la capacidad de generar energía. En otros sitios del mundo donde el costo energético es alto, el bombeo de acuíferos y las transferencias de agua no compiten con los costos de desalar (Pantell, 1993). Sin embargo, el rápido desarrollo tecnológico permite disminuir los costos hasta en alrededor de \$1 dólar/m³ (Schriber, 2007) por lo que es posible que en mediano plazo sea competitiva esta alternativa contra las fuentes de abasto tradicional.

En Ensenada a los costos de desalación actuales, los resultados del modelo Baja CALVIN indican que la desalación no es económicamente viable en relación a las alternativas de reuso u abasto mediante el acueducto debido a que éstas aún representan costos económicos menores. No obstante, actualmente está por iniciar la licitación de una desaladora para abastecer la demanda urbana de Ensenada con una capacidad de 250 lps, con una inversión aproximada de \$300 millones de pesos, que será financiada con recursos federales y estatales (CEFP, 2007). Se estima que el costo de operación de dicha planta sea alrededor de \$1 USD/m³, por lo que la comunidad local espera que el gobierno federal otorgue un subsidio del 50% al costo de operación para no encarecer el precio del agua (Lamas, 2007). El establecimiento de una planta desaladora en Ensenada ofrece la ventaja de satisfacer la demanda de agua a mediano plazo, y obtener cierta independencia del abasto de agua subterránea. Se espera que al contar con una nueva fuente de abasto urbano, se atenúe la sobreexplotación de acuíferos. Desgraciadamente no se cuenta con la información de que prioridad darían los organismos operadores del abastecimiento respecto a cuál o cuales acuíferos podrían favorecerse.

Por otro lado, las plantas desaladoras tienen múltiples desventajas ambientales y económicas. En primer lugar, el costo energético es excesivo y en muchos casos la generación de la energía necesaria contribuye en la generación de gases de invernadero. En segundo lugar se encuentra el problema de disposición de grandes volúmenes de salmuera residual, la cual requiere de un manejo apropiado a fin de mitigar los daños al medio marino o de infiltración al subsuelo. Sin embargo, la principal desventaja de esta propuesta de abasto, bajo los esquemas actuales es el alto costo de operación. El obtener subsidios por parte del gobierno federal para estar en condiciones de ofrecer un precio socialmente aceptable es una práctica que se debería evitar debido a que se favorecería el uso ineficiente del agua al asignar un costo irreal. El uso de recursos financieros públicos puede también significar un alto costo social para favorecer a cierto sector empresarial.

La urgencia de asegurar las fuentes de agua para la sociedad frente a la escasez, invita a la adopción de un modelo de planeación de manejo integrado de recursos hídricos. Dicho manejo integrado es un proceso sistemático para el desarrollo sustentable y para la asignación y monitoreo de recursos del agua en el contexto de objetivos sociales, económicos y del medio ambiente (Cap-Net, 2004). Desde este enfoque, se reconoce que los hallazgos del presente estudio requieren del punto de vista de los usuarios, administradores y la sociedad en general debido a que las asignaciones de agua podrían ser óptimas en el plano económico y no así en términos de sustentabilidad y equidad.

CONCLUSIONES

Con base al análisis realizado a los resultados del modelo de optimización se concluye lo siguiente:

El análisis económico-ingenieril, mediante la optimización, tiene el potencial de sugerir asignación de agua a las actividades de mayor valor económico, para dar guías en un intercambio mas eficiente de agua entre los usuarios urbanos y agrícolas. Mediante estas asignaciones se minimizan los costos de la escasez en la región.

La sobreexplotación ha enmascarado los costos económicos reales de la escasez en Ensenada. Mediante la valoración económica únicamente, la sobreexplotación es la alternativa con la posibilidad de prácticamente eliminar la escasez en la región. Sin embargo, se descarta esta opción por implicar un uso no sustentable. Las fallas institucionales han mantenido dicha condición, a costo del daño ambiental y socioeconómico por el deterioro de la calidad del agua en los acuíferos.

Entre las opciones de abasto de agua, las que incluyen el reuso ofrecen la menor escasez, costo de escasez y disponibilidad a pagar. Así también, el reuso de aguas tratadas permite que la sobreexplotación de acuíferos para abastecer la agricultura se reduzca o elimine. El modelo asigna el mayor valor económico al reuso directo en riego agrícola, en Maneadero y Guadalupe, seguido del uso indirecto, en recarga de la presa y acuíferos. El reuso en irrigación de la PTAR El Naranjo es una decisión económicamente eficiente, que sin embargo requiere ser parte de un manejo integrado a fin de asegurar su sustentabilidad y máximo beneficio a los usuarios. La opción de recarga de acuíferos carece de apoyo institucional, por lo que en el corto y mediano plazo no es una opción políticamente factible. El reuso en la recarga de la presa Rodríguez Zamora ofrece beneficios al asegurar la disponibilidad del recurso, aún en tiempos de estiaje, así como la flexibilidad del acceso a una fuente adicional de agua, fuera de los acuíferos. Sin embargo, es necesario considerar cuestiones de calidad, aceptación social y mayor estudio debido a que esta opción implica el contacto humano directo.

El abasto mediante el acueducto El Hongo-La Misión, con transferencia de agua del Río Colorado para abastecer la demanda urbana de Ensenada, es la opción que le sigue al reuso en términos de escasez. Sin embargo, representa un costo de escasez de casi 10 veces a la agricultura de Maneadero, y el doble de costo para Guadalupe, en relación a los costos de escasez con reuso.

La política de desalación de agua de mar nunca representó una opción económicamente viable de abasto urbano. Bajo el esquema de costos actuales de desalar, esta opción aún no es económicamente benéfica para Ensenada. El costo de abastecer la demanda urbana con agua desalinizada es tan alto que es preferible asumir el costo de la escasez de no recurrir a ninguna fuente de abasto adicional. Cualquiera de las opciones anteriores ofrece mejores beneficios económicos.

La agricultura de Maneadero es más sensible a la escasez del agua que la de Guadalupe. El aumento del volumen de la escasez en Maneadero trajo un aumento diez veces mayor en el costo de escasez; sin embargo, para Guadalupe significó un aumento de dos veces su costo.

En todos los casos, no existió escasez de agua para uso urbano, debido a que el valor económico de este uso es más alto que el agrícola. Le siguió la agricultura de Maneadero con algunos casos de escasez. La agricultura de Guadalupe, no satisface sus demandas de agua debido a que sus costos de extracción de agua o los beneficios generados de su producción agrícola no justifican el costo de extracción de agua.

No existe beneficio económico en sustraer agua del acuífero de Guadalupe para abastecer la ciudad. La ciudad puede abastecerse mediante reasignaciones de los acuíferos restantes, presa y mediante el intercambio de aguas residuales tratadas para irrigación por agua por agua del acuífero de Maneadero.

- El estudio evidenció la interrelación entre los elementos del sistema de abasto de agua. Las decisiones que se toman a nivel urbano, afectan el desempeño económico de las actividades agrícolas y viceversa. A su vez, las actividades urbanas y agrícolas dependen de los sistemas naturales, en este caso los acuíferos. Por ello, es necesario planear un manejo integrado de los recursos del

agua para llevar a cabo un aprovechamiento sustentable. Es necesario considerar las posibles fuentes de abasto dentro de un contexto de sustentabilidad y no como proyectos aislados.

RECOMENDACIONES

Considerando los resultados económicos del modelo para Ensenada y sus zonas agrícolas y sus implicaciones, es posible plantear lo siguiente:

Debido a que la agricultura representa el volumen mayor de consumo de agua, es necesario reducir inicialmente la demanda de agua de irrigación mediante la planeación de los cultivos para favorecer los más eficientes en términos de beneficio económico, rendimiento de acuerdo a la calidad del agua de irrigación y menor consumo de agua.

- El manejo del agua desde el punto de vista de cuenca es importante para asegurar y proteger la recarga de acuíferos y el aprovechamiento de otras fuentes alternativas de agua.
- Se debe implementar la aplicación de prácticas de reuso más allá del uso agrícola, incluyendo riego de zonas verdes y uso industrial.
- La implementación de estas políticas de reuso deben ir acompañadas de programas de monitoreo para verificar los efectos al suelo, evitar riesgos a la salud y establecer confianza en la calidad de esta fuente de agua alternativa. Es necesario también obtener apoyo técnico a los agricultores y personas involucradas en su reuso para implementar de manera exitosa el reuso de aguas tratadas. La medida de los resultados de esta práctica proveerán de un importante antecedente de reuso planeado para otras ciudades en México.
- Se deben evitar las transferencias de cuencas externas, y favorecer la eficiencia el agua local. De aplicar políticas de transferencias de agua, es necesario identificar, evaluar y mitigar los efectos negativos en las cuencas de donde se obtiene el agua.

- La alternativa de abasto de agua desalada no se debe implementar bajo los costos actuales. Esta alternativa de abasto puede ser viable para la región en algún momento, mientras tanto se debe dar prioridad al manejo eficiente del agua con que se cuenta actualmente.
- Los acuíferos de la zona requieren ser manejados efectivamente y detenerse su sobreexplotación. El apoyo institucional debe establecerse de manera seria para lograrlo.

BIBLIOGRAFIA

Agudelo, J.I. (2001) The economic valuation of water: Principles and Methods. Value of Water Research Report Series No.5. Delft, The Netherlands, IHE

Alley, W., T.E. Reilly and O.L. Franke (1999) Sustainability of ground-water resources. U.S. Geological Survey Circular 1186. Denver, Colorado

Asano, T. (2007) Water Reuse. Issues Technologies and Applications. Metcalf & Eddy/AECOM. 1570 pp

Ayuso-Gabella, M.N., D. Bixio, E. Van Houtte, M. Salgot, N. Saperas, I. Kopac (2007) Definition of CCP in two artificial recharge sites with reclaimed wastewater in the RECAIM WATER Project. Presented at the 6th Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability. October 9-12, 2007 Antwerp, Belgium

Badan, A., T. Kretzschmar, I. Espejel, T. Cavazos, H.D. Acosta, P. Vargas, L. Mendoza, C. Leyva, G. Arámburo, W. Dásele y B. Ahumada. 2005. Hacia un plan de manejo del agua en Valle de Guadalupe, Baja California. Ciencia, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias.

Borras, G., M. Soler and L. Sala (2007) Summary of the reclaimed water quality produced at the Blanes reclamation plant (Costa Brava, Girona, Spain). Presented at the 6th Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability. October 9-12, 2007 Antwerp, Belgium

Bos, E. and G. Bergkamp (2002) Focus 9: Overcoming Water Scarcity and Quality Constraints. Water and the Environment. Brief 6 of 14, October 2001. En: http://www.ifpri.org/2020/focus/focus09/focus09_06.htm . Consultado el 20 de abril del 2006.

California Department of Water Resources (2006) Water Modelling. Consultado el 17 de Noviembre del 2006, desde <http://www.water.ca.gov>

California State Water Resources Control Board (2003) Recycled water use in California. Office of Water Recycling. Consultado el 12 de diciembre del 2007 Desde <http://www.swrcb.ca.gov/recycling/munirec.htm>

California State Water Resources (2007) State Water Project. Public affairs office. Consultado el 12 de diciembre del 2007 Desde <http://www.publicaffairs.water.ca.gov>

Cap-net (2004) Integrated water management. Capacity building for integrated water resource management The Netherlands. Consultado el 20 de abril del 2006 desde: www.cap-net.org

CEFP (2007) Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión de los Estados Unidos Mexicanos. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. Consultado el 6 de diciembre del 2007 desde: www.cefp.gob.mx

Comisión Estatal del Agua y Servicios Públicos de Ensenada (2007) Ficha informativa de proyectos de infraestructura: Emisor de aguas tratadas de 500 lps de la Planta El Naranjo-Parcela 195, Valle de Maneadero. Gobierno del Estado de Baja California.

Comisión Estatal del Agua y Servicios Públicos de Ensenada (2005) Reporte de Indicadores Gerenciales. Subgerencia de Proyectos. Ensenada, B.C., México.

Comisión Nacional del Agua (2007) Estadísticas del agua en México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. Del www.conagua.gob.mx consultado diciembre 2007.

Comisión Nacional del Agua (2005a) Estudio de Mercado para el Aprovechamiento Sustentable de las Aguas Residuales Tratadas en el Estado de Baja California. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE).

Comisión Nacional del Agua (2005b) Situación de los Recursos Hídricos. Estadísticas del Agua en México 2005. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.

Comisión Nacional del Agua (2005c) Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Publicaciones Conagua. Del www.conagua.gob.mx consultado diciembre de 2007.

Comisión Nacional del Agua (2003) Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Gerencia Regional I Península de Baja California. México.

Comisión Nacional del Agua (2003b) Plan de Manejo Integral del Acuífero de Maneadero. Desarrollo y Sistemas, S.A.

Comisión Nacional del Agua (2002a) Determinación de la disponibilidad de Agua en el Acuífero de Ensenada Baja California. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. México, D.F. 13 pp.

Comisión Nacional del Agua (2002b) Determinación de la disponibilidad de Agua en el Acuífero Maneadero Baja California. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. México, D.F. 18 pp.

Comisión Nacional del Agua (2002c) Determinación de la disponibilidad de Agua en el Acuífero La Misión Baja California. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. México, D.F. 20 pp.

Comisión Nacional del Agua (2002d) Determinación de la disponibilidad de Agua en el Acuífero Guadalupe Baja California. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. México, D.F. 19 pp.

Comisión Nacional de Agua, (1995-2004) Registro de extracciones y aportaciones a las presas de Baja California. Gerencia de Aguas Superficiales. Ensenada, B.C.

CONAPO (2005) Indicadores demográficos básicos de la población de México. Consejo Nacional de Población. En: www.conapo.gob.mx

Córdova, C. (2007) Avanza entubado de aguas tratadas. Periódico El Vigía, 24 agosto. Ensenada, B.C. México

Culp, P. (2000) Feasibility of Purchase and Transfer of Water for Instream Flow in the Colorado River Delta, México. The Udall Center for Studies in Public Policy. The University of Arizona.

Daesslé, L.W., Sanchez, E., Camacho-Ibar, V., Mendoza-Espinosa, L.G., Carriquiry, J.D., Macias, V.A., Castro, P. G. (2004) Geochemical evolution of groundwater in the Maneadero costal aquifer during a dry year in Baja California, México. *Hydrogeology Journal* 3 (4): 584-595.

Demas, C., K. Hatfield, and D. Hearn (2000) Decision modeling for alternative water supply strategies. University of Florida. Technical Report for St. John River Water Management District. Pub. No. SJ000-SP9. Consultado en: Noviembre de 2006 desde: <http://sjr.state.fl.us>

Diario Oficial de la Federación (1998) Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Diario Oficial de la Federación (1997) Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Draper, A.J., Jenkins, M.W., Kirby, K.W., Lund, J.R. and Howitt, R.E. (2003) Economic engineering Optimization for California Water Management, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 121(3):155-164.

Drangert, J.O. & Cronin, A.A. (2004) Use and abuse of the urban groundwater resource: Implications for a new management strategy. *Hydrogeology Journal*, 12, 94-102.

FAO (1998) Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Agriculture Department. Consultado en Enero 2007 Desde: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm>.

FAO (2003) CLIMWAT database. Water Resources, Development and Management Service. Consultado en: Enero 2007 Desde: <http://www.fao.org/ag/AGL/aglw/climwat.stm>

FAO (2003b) The State of Food and Agriculture 1993. Economic and Social Department. FAO Agriculture Series No. 26, Rome, Italy

Hardin, G. (1968) The Tragedy of the Commons. *Science* 162(1968):1243-1248.

Howe, C. W. (1979) Natural resource economics: Issues, analysis and policy. John Wiley & Sons. United States.

Howitt, R.E. , Lund, J.R., Kirby, K.W., Jenkins, M.W., Draper, A.J., Grimes, P.M., Ward, K.B., Davis, M.D., Newlin, B.D., Van Lienden, B.j., Cordua, J.L. and Masangi, S.M. (1999) Integrated Economic Engineering Analysis of California Future Water Analysis of California's Future Water Supply, Center for Environmental and Water Resources Engineering, University of California, Davis. Consultado Noviembre 2006 Desde: [http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/CALVIN/..](http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/CALVIN/)

Howitt, R. E., K. B. Ward, and S. Msangi. (2001) Statewide Agricultural Production Model. Appendix A, University of California, Davis, Davis, CA. Consultado; Junio 2007. Desde; [http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/CALVIN/..](http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/CALVIN/)

IMTA (2003) Extractor Rápido de Información Climatológica. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. www.imta.gob.mx

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2004) II Censo de Población y Vivienda. México.

INIFAP (1998) Paquetes tecnológicos para el área de influencia del campo experimental "Costa de Ensenada". Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Publicación técnica 1(1998): 1-35

Jenkins, M.W., Draper, A.J., Lund, J. R. , Howitt, R.E., Tanaka, S.K., Ritzema, R. S., Marques, G.F., Msangi, S.M., M.D. Newlin, B.J. Van Lienden, M.D. Davis, and K. B. Ward, (2001) Improving California water management: optimizing value and Flexibility. Center for Environmental Engineering, University of California, Davis. Consultado en Noviembre 2006 Desde: <http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/CALVIN/>

Jenkins, M.W., Lund., J. R., Howitt, R.E. (2003) Economic Losses for urban water scarcity in California. *Journal of the American Water Works Association* 95(2):155-164.

Jenkins, M.W. , Lund, J. R. , Howitt, R.E., Draper, A.J., Missangi, S.M., Tanaka, S.K., Ritzema, R. S., y Marques, G.F. (2004). Optimization of California's water supply system: results and insights. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(4):271-280.

Jiménez, B., A. Chávez, E. Barrios y R. Pérez (2000) Impact and Potential of Reused Water in the Mezquital Valley, *Water* 21 IWA, 34-36

Labadie, J.W. (1997) "Reservoir System Optimization Models," *Water Resources Update*, 108(Summer), 83-110.

Labadie, J. W. (2004) Optimal operation of multireservoir systems: State-of-the-art review. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce*, 130(2):93- 111.

Lamas, L. (2007) No utiliza Ensenada agua del Río Colorado. 27 de julio del 2007. Periódico El Vigía, Ensenada, B.C. México.

Lamas, L. (2007b) Ensenada se abastece de la presa. 24 de Noviembre del 2007. Periódico El Vigía, Ensenada, B.C. México.

Lazarova, V. (ed) 2004. Water Reuse for Irrigation. Agriculture, Landscapes and Turf Grass. CRC publisher. 432 pp.

Le Corre, K., B. de Heyder, C. Masciopinto, A. Aharoni, H. Cikurel, X. Zhao, M. Salgot, M.N. Ayuso Gabella, N. Saperas, E. Cartnell, B. Jefferson, P. Jeffrey (2007) Preliminary results of manager aquifer recharge with reclaimed wastewater in five operational case studies from around the World. Presented at the 6th Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability. Antwerp, Belgium

Leyva, C., I. Espejel, G. Aramburo, B. Ahumada y D. Alvarado (2004) Propuesta de Ordenamiento Ecológico Local del Corredor San Antonio de las Minas- Valle de Guadalupe. Informe Técnico Final. UABC - Dirección de Ecología del Estado de Baja California.

Luecke, D.F., Pitt, J., Congdon, C. Glebb, E. Valdes-Casillas, C. Briggs, M. (1999) A Delta Once More: Restoring Riparian and Wetlands Habitat in the Colorado River Delta. Boulder, CO; Environmental Defense Fund Publications.

Lund, J.R., E. Hanak, W. Fleenor, R. Howitt, J. Mount, and P. Moyle (2007) Envisioning Futures for the Sacramento-San Joaquin Delta. Public Policy Institute of California. 324 pp.

Lund, J., R. Howitt, M. Jenkins, T. Zhu, S. Tanaka, M. Pulido, M. Tauber, R. Ritzema y I. Ferreira (2003) Climate Warming and California's Future. University of California, Davis. A report to the California Energy Commission. Consultado el 17 de Noviembre del 2006 En: <http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/CALVIN/>.

Lund, J.R. and I. Ferreira (1996) "Operating Rule Optimization for the Missouri River Reservoir System," Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 122, No. 4, pp. 287-295, July/August,

Lund, J. R., I. Morris (1995) "Water Transfers in Water Resource Systems". Journal of Water Resources Planning and Management. 121(2): 193-204.

Ma, J., A. Hoekstra, H. Wang, A. Chapagain and D. Wang (2006) Virtual vs real water transfers within China. Phil. Trans. R. Soc. B. 361(1469): 835-842.

Medellín-Azuara, J., Mendoza-Espinosa, L. G., Lund, J. R., Waller-Barrera, C., y Howitt, R. E. (2008) "Water Supply for Baja California: Economic-Engineering Analysis for Agricultural, Environmental and Urban Demands." *Draft Report Prepared for the California Environmental Protection Agency*, University of California, Davis; Davis, California, USA. Draft January 2008. Disponible en <<http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/BajaCALVIN>>

Medellín-Azuara, J., Harou, J. J., Olivares, M. A., Madani, K., Lund, J. R., Howitt, R. E., Tanaka, S. K., and Jenkins, M. W. (2008) "Adaptability and Adaptations of California's Water Supply System to Dry Climate Warming." *Climatic Change*, (In Press).

Medellín-Azuara, J., Lund, J. R., and Howitt, R. (2007a) "Water Supply Analysis for Restoring the Colorado River Delta, Mexico." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 133(5), 462-471

Medellín-Azuara, J., Mendoza-Espinosa, L.G. Lund, J.R. y Ramirez-Acosta R.J. (2007b) The application of an economic-engineering optimization model for water management in Ensenada, Baja California, Mexico. *Water Science & Technology*, 55(1-2): 339-347

Medellín-Azuara, J. (2006) "Economic-Engineering Analysis of Water Management for Restoring the Colorado River Delta," Ph.D. Dissertation, University of California, Davis, Davis, California.

Mendoza-Espinosa, L. G., L.W. Daesslé, M.V. Orozco-Borbón, I. Espejel, C. Leyva and A. Quintanilla (2005) Water Quality and Reclamation Issues in the Guadalupe Valley Aquifer, Baja California, Mexico. Presented at the IWA's 5th international Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability, Jeju, Korea.

Mendoza-Espinosa, L. G., M. V.Orozco-Borbón and P. Silva-Nava (2004) Quality assessment of reclaimed water for its possible use for crop irrigation and aquifer recharge in Ensenada, Baja California, Mexico. *Water Science and Technology*. 50 (2): 285-291.

Michel, S. (2002) The Geography of Water Transfers and Urbanization in Baja and Southern California. In *Both Sides of the Border: Transboundary Environmental Management Issues Facing Mexico and the United States*. Fernandez, L. and Carson, R. (Eds.) The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Muñoz-Piña, C., Avila-Forcada, S., Jaramillo-Mosqueira, A., Sainz-Santamaría J., Martinez-Cruz, A. (2006) Agriculture Demand for Groundwater in Mexico: Impact of water right enforcement and electricity user-fee on groundwater level and quality. Working paper INE-DGIPEA/0306 Instituto Nacional de Ecología. México. Consultado en 27 Noviembre 2007 En:
http://www.ine.gob.mx/dgipea/download/decoupling_the_subsidy_for_water_pumping.pdf

Muñoz-Piña, C., Avila-Forcada, S., Jaramillo-Mosqueira, A., Guevara, A and Islas, I. (2006b) Subsidies to groundwater pumping in México: Perverse effects & options for decoupling. *Research in Environment Economics and Policy*. Instituto Nacional de Ecología, México.

National Research Council. 1992. Water transfers in the West: efficiency, equity and the environment. Committee on Western Water Management. 320 pages.

Newlin, B.D., Jenkins, M.W., Lund, J. R. , Howitt, R.E. (2002) Southern California Water Markets: Potential and Limitations. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128(1):21-32.

Null, S. E., and J. R. Lund. 2006. Reassembling Hetch Hetchy: Water supply without O'Shaughnessy Dam. *Journal of the American Water Resources Association*, 42(2):395-408.

Organization for Economic Cooperation and Development, 2003. Environmental Performance Reviews: Mexico. Chapter 3: Water Management. Paris, France

Pantell, S., 1993. Seawater desalination in California. California Coastal Commission. State of California.

Plummer, J.L. (1994) Water water resources: the desert is blooming, but will it continue? Journal of the American Water Resources Association 30 (4), 595-603

Programa Estatal Hidráulico, (2003) Comisión Estatal del Agua, Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano. México. Consultado de: <http://www.bajacalifornia.gob.mx/coplade/subcomites/phidraulico.pdf>

Quintanilla-Montoya, A.L., M. Hernandez Lucero, L. Mendoza Espinosa, W. Dásele (2006) *Desalinización de agua de mar mediante el uso de fuentes renovables de energía, para su posible uso en las comunidades rurales del sur de la península de Baja California, México*. En: Construyendo el Futuro: Visiones para un desarrollo Rural Sustentable en las Comunidades de Baja California. Colección 50 Aniversario de la UABC, Editorial Universitaria UABC y Miguel Ángel Porrúa.

Ramírez-Acosta, R. J. y L. G. Mendoza-Espinosa (2005) *Economía del Agua en Baja California: Reuso de Aguas Residuales Tratadas Bajo Mecanismos de Mercado*. Selección Anual del Libro Universitario 2003-2004, Departamento de Editorial Universitaria, Universidad Autónoma de Baja California, 221 pp. ISBN: 970-735-010-5

Rivera-Cárdenas, D. (2006) Evaluación del potencial del efluente de la planta de tratamiento El Naranjo, como fuente de agua para la irrigación de productos agrícolas y la recarga del acuífero costero de Maneadero, B.C. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, México.

Sanvicente- Sánchez, H. y Fraustro -Solís, J. (2000) Determinación óptima de diámetros en redes de distribución de agua con algoritmos de búsqueda estocástica. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Córdoba, Argentina

Schirber, M. (2007) Why desalination doesn't work, yet. Live Science. Imaginova. New York

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2002) Costos de cultivos, ciclos otoño-invierno y primavera-verano. Área de Estadística. Delegación Ensenada, B.C.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2002-2004) Archivos de Cultivos Riego Otoño-Invierno, Primavera-Verano y Perennes Área de Estadística. Delegación Ensenada, B.C.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2003) Costos de cultivos, ciclos otoño-invierno y primavera-verano. Área de Estadística. Delegación Ensenada, B.C.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2004) Costos de cultivos, ciclos otoño-invierno y primavera-verano. Área de Estadística. Delegación Ensenada, B.C.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2004) Costo del Agua en Agricultura. Ciclo otoño-invierno 2004-2005. Área de Ingeniería. Delegación Ensenada, B.C., México

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2005) Reporte de Producción Agrícola para la Promotoría de Maneadero y Valle de Guadalupe. Delegación Ensenada, B.C., México.

Secretaría de Infraestructura, Desarrollo Urbano y Ecología (2000) Plan Hidráulico y de Agua Limpia. Gobierno del Estado de Baja California. México.

Tanaka, S. (2001) "Effects of Increased Delta Exports on Sacramento Valley's Economy and Water Management," MS.Thesis. UC Davis. Disponible en: <http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/>

Tzatchov, V. y Izurieta-Dávila, J.L. (1996) Sistema de cómputo para el análisis y diseño óptimo de redes de distribución de agua de potable. Ingeniería Hidráulica en México. 9 (2),55-63.

USACE (1994) *Hydrologic Engineering Center's Prescriptive Reservoir Model, Program Description*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, February.

Valdés-Casillas, C., Hinojosa-Huerta, O., Muñoz-Viveroz, M., Zamora-Arroyo, F. Carillo – Guerrero, Y., Delgado- García, S., López-Camacho, M, Glenn, E., Congdon, C., Luecke, D. (1998) Information Database and Local Outreach Program for the Restoration of the Ardí River Wetlands, Lower Colorado River Delta, Baja California and Sonora, México. A Report to the North American Wetland Council

Vargas, E. (2007) Utiliza CESPE agua de la presa. Periódico El Vigía, 3 de septiembre. Ensenada, B.C. México

Vovontas, D. , Arampatzis, G., Manolie, E., Karavitis, C., Assimacopoulos, D. (2003) Water supply modeling towards sustainable environmental management in small islands: the case of Paros, Greece. European Conference on Desalination and the Environment: Fresh Water for All. Malte, 156 (1-3) 127-135

Wangnick, (2005) 2004 Worldwide desalting plants inventory. Global Water Intelligence. Oxford, England.

World Bank (2005) Investment Note 4.4 - Groundwater Governance and Management, Shaping the Future of Water for Agriculture. Consultado: Noviembre 2007.Desde <http://web.worldbank.org/>

World Wide Fund for Nature (2007) Pipedreams? Interbasin water transfers and water shortages. Global freshwater programme. Netherlands. Consultado: Octubre 2007 Desde www.panda.org/freshwater

Young, R.A. (2005) Determining the economic value of water: concepts and methods. Resources for the Future, Washington, D.C.

ANEXO I

Descripción de la Red de Datos

Tabla AI-1. Descripción de nodos que integran la red de datos

NODE NAME	ID NAME	Description	Node-type	Non-storage types	Storage Properties			Storage cost	Lower Bound		Upper Bound	
					Initial storage (Mm ³)	Ending storage (Mm ³)	Constraint type		Constant constraints Lower bound (Mm ³)	Constraint type	Constant constraints Upper bound (Mm ³)	
AG-GUA	AG-GUA	Guadalupe agricultural demand (Ensenada)	Non-storage	Ag demand node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
AG-MAN	AG-MAN	Manadero agricultural demand (Ensenada)	Non-storage	Ag demand node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
ENS-OVER	ENS-OVER	Ensenada overdraft	Non-storage	Junction Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
GW-ENS	GW-ENS	Groundwater Ensenada aquifer	Ground water storage	n/a	70	none	constant	none	constant	10	constant	70
GW-GP	GW-GP	Groundwater Guadalupe (Ensenda)	Ground water storage	n/a	150	none	constant	none	constant	10	constant	218
GW-MAN	GW-MAN	Groundwater Manadero	Ground water storage	n/a	160	none	constant	none	constant	10	constant	421
GW-MIS	GW-MIS	Groundwater La Misión (supplies water to Ensenada, Rosarito and Tijuana)	Ground water storage	n/a	30	none	constant	none	constant	5	constant	60
HUM9URBAN ENS	HUM9URBAN ENS	Hidden node for urban Ensenada	Non-storage	Junction node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
M15	M15	Delivery mode to Manadero agriculture	Non-storage	Junction Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
M19	M19	Arroyo El Gallo (receiving treated wastewater from El Naranjo and El Gallo wastewater treatment plants	Non-storage	Junction Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
M23	M23	Delivery node to Guadalupe agriculture	Non-storage	Junction Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
M58	M58	Arroyo 4 Milpas (El Sauzal WWTP effluent)	Non-storage	Junction Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

NODE NAME	ID NAME	Description	Node-type	Non-storage types	Storage Properties			Storage cost		Lower Bound		Upper Bound	
					Initial storage (Mm ³)	Constrained to:	Ending storage (Mm ³)			Constraint type	Constant constraints Lower bound (Mm ³)	Constraint type	Constant constraints Upper bound (Mm ³)
M9	M9	Urban demand distribution node Ensenada	Non-storage	Junction Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
MT14	MT14	El Naranjo wastewater treatment plant	Non-storage	Water Treatment Plant Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
MT15	MT15	El Gallo wastewater treatment plant	Non-storage	Water Treatment Plant Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
MT16	MT16	El Sauzal wastewater treatment plant	Non-storage	Water Treatment Plant Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
MT21	MT21	El Sauzal wastewater treatment plant (expansion)	Non-storage	Water Treatment Plant Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
MT22	MT22	El Naranjo wastewater treatment plant expansion	Non-storage	Water Treatment Plant Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
MT23	MT23	Seawater desalination to Ensenada (future infrastructure)	Non-storage	Water Treatment Plant Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
PUMP9PMP	PUMP9PMP	Pump station 9	Non-storage	Junction Node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Sink_Desalt	Sink_Desal	Sink node for Desalting plant	Non-storage	Sink node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Sink_OP	Sink_OP	Sink node to the Pacific Ocean	Non-storage	Sink node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
SR-ZAM	SR-ZAM	Zamora Reservoir (Ensenada)	Surface storage	none	1.5	-	-	none	constant	constant	0.4	constant	6.86
URB-ENS	URB-ENS	Urban demand Ensenada	Non-storage	Urban demand node	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Tabla AI-2. Descripción de enlaces y nodos al que se unen en la red de datos.

NODE	Link Name	Link Description	Link Type	Link Amplitude	Location		Lower Bound		Upper Bound		Link cost (\$dls/1000 m ³)
					Origin node	Destination node	Constraint Type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	Constraint type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	
AG-GP	AG-GUA_GW-GP	Return flows from Guadalupe agriculture to Guadalupe aquifer	Diversion	0.01	AG-GUA	GW-GP	constant	0	none	n/a	none
	M23-AG-GP	Deliveries to Guadalupe agriculture	Diversion	1	M23	AG-GP	none	n/a	Time varying	-	Time Dependent
AG-MAN	AG-MAN_GW-MAN	Return flows from Maneadero agriculture to Maneadero groundwater	Diversion	0.01	AG-MAN	GW-MAN	none	n/a	none	n/a	none
	M15_AG-MAN	Deliveries to Maneadero agriculture	Diversion	1	M15	AG-MAN	none	n/a	Time varying	-	Time Dependent
ENSOVER	ENSOVER_M15	Overdraft to Maneadero agriculture	Diversion	1	ENS-OVER	M15	none	n/a	none	n/a	96
	ENSOVER_M23	Ensenada overdraft to Guadalupe AG	Diversion	1	ENS-OVER	M23	none	n/a	none	n/a	96
	ENSOVER_M9	Ensenada overdraft to Ensenada urban demand	Diversion	1	ENS-OVER	M9	none	n/a	none	n/a	800
	ENSOVER_Sink_OP	Sink for Ensenada overdraft	Diversion	1	ENS-OVER	Sink_OP	none	n/a	none	n/a	none
GW-ENS	GW-ENS_M9	Water supply from Ens. aquifer to Ens. urb.	Diversion	0.75	GW-ENS	M9	none	n/a	none	n/a	95

NODE	Link Name	Link Description	Link Type	Link Amplitude	Location		Lower Bound		Upper Bound		Link cost (\$dills/ 1000 m ³)
					Origin node	Destination node	Constraint Type	Constant constraint (l/m ³ /mo.)	Constraint type	Constant constraint (l/m ³ /mo.)	
GW-GP	AG-GP_GW-GP	Return flows from Guadalupe agriculture to Guadalupe aquifer	Diversion	0.01	AG-GUA	GW-GP	constant	0	none	n/a	none
	GW-GP_M23	Guadalupe groundwater supply to Guadalupe agriculture	Diversion	0.9	GW-GP	M23	none	n/a	none	n/a	none
	GW-GP_M9	Groundwater supply from Guadalupe to Ensenada urban demand	Diversion	0.75	GW-GP	M9	none	n/a	none	n/a	687
	MT14_GW-GP	El Naranjo WWTP effluent to be reused for Guadalupe aquifer recharge	Diversion	1	MT14	GW-GP	none	n/a	Constant	1.3	43
	MT15_GW-GP	El Gallo WWTP effluent reused for aquifer recharge (Guadalupe groundwater)	Diversion	1	MT15	GW-GP	none	n/a	Constant	0.48	118
	MT16_GW-GP	El Sauzal WWTP effluent reused for aquifer recharge (Guadalupe groundwater)	Diversion	1	MT16	GW-GP	none	n/a	Constant	0.27	212
	MT21_GW-GP	El Sauzal WWTP expansion effluent reused for aquifer recharge (Guadalupe groundwater)	Diversion	1	MT21	GW-GP	constant	0	Constant	0	none

NODE	Link Name	Link Description	Link Type	Link Amplitude	Location		Lower Bound		Upper Bound		Link cost
					Origin node	Destination node	Constraint Type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	Constraint type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	
GW-MAN	AG-MAN_GW-MAN	Return flows from Maneadero agriculture to Maneadero groundwater	Diversion	0.01	AG-MAN	GW-MAN	none	n/a	none	n/a	none
	GW-MAN_M15	Maneadero groundwater extraction to Maneadero agriculture	Diversion	0.9	GW-MAN	M15	none	n/a	none	n/a	none
	GW-MAN_M9	Maneadero groundwater supply to Ensenada	Diversion	0.75	GW-MAN	M9	Monthly varying	n/a	none	n/a	95
	MT14_GW-MAN	El Naranjo effluent to be reused for aquifer recharge at Maneadero groundwater	Diversion	1	MT14	GW-MAN	constant	0	Constant	0	none
	MT22_GW-MAN	Wastewater from El Naranjo expansion (future) to Maneadero aquifer recharge	Diversion	1	MT22	GW-MAN	constant	0	Constant	0	none
GW-MIS	GW-MIS_M9	La Mision groundwater to Ensenada urban supply	Diversion	0.75	GW-MIS	M9	none	n/a	none	n/a	687
HUM9URBANENS	HU9-URBENS	-	Diversion	1	HUM9URBANENS	URB-ENS	none	n/a	none	n/a	Time Dependent
	M9-HUM9	-	Diversion	1	M9	HUM9URBANENS	none	n/a	Time varying	upper Bound time series	none

NODE	Link Name	Link Description	Link Type	Link Amplitude	Location		Lower Bound		Upper Bound		Link cost (\$/lit/1000 m ³)
					Origin node	Destination node	Constraint Type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	Constraint type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	
M23	ENSOVER_M23	Overdraft link to Guadalupe agriculture	Diversion	1	ENS-OVER	M23	none	n/a	none	n/a	96
	GW-GP_M23	Guadalupe groundwater supply to Guadalupe agriculture	Diversion	0.9	GW-GP	M23	none	n/a	Time varying	upper Bound time series	None
	M23_AG-GUA	Deliveries to Guadalupe agriculture	Diversion	1	M23	AG-GUA	none	n/a	Time varying	upper Bound time series	Time Dependent
	MT15_M23	El Gallo WWTP effluent reused for Guadalupe agriculture	Diversion	1	MT15	M23	none	n/a	Constant	0.48	118
	MT16_M23	El Sauzal WWTP effluent reused for Guadalupe agriculture	Diversion	1	MT16	M23	none	0	Constant	0	250
M58	M59_Sink_Desalt	Arroyo 4 Milpas (Sauzal) discharge to the ocean	Diversion	1	M58	Sink Desalt	none	n/a	none	n/a	None
	MT16_M58	El Sauzal WWTP discharge to arroyo 4 Milpas (Sauzal)	Diversion	1	MT16	M58	none	n/a	none	n/a	None
	MT21_M58	El Sauzal WWTP (expansion) discharge to Arroyo 4 Milpas	Diversion	1	MT21	M58	constant	0	Constant	0	0
MT14	M12_MT14	Wastewater from urban demand Ensenada to El Naranjo WWTP	Diversion	0.9	M12	MT14	none	n/a	Monthly varying	ave. 1.34	166.8
	MT14_GW-MAN	El Naranjo effluent to be reused for aquifer recharge at Maneadero groundwater	Diversion	1	MT14	GW-MAN	none	n/a	Constant	1.3	9

NODE	Link Name	Link Description	Link Type	Link Amplitude	Location		Lower Bound		Upper Bound		Link cost (\$dls/1000 m ³)
					Origin node	Destination node	Constraint Type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	Constraint type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	
MT14	MT14_GW-GP	El Naranjo effluent to be reused at Guadalupe aquifer recharge	Diversion	1	MT14	GW-GP	none	n/a	Constant	1.3	43
	MT14_M15	El Naranjo Effluent to be reused at Maneadero agriculture	Diversion	1	MT14	M15	none	n/a	Constant	1.3	5
	MT14_M23	El Naranjo wastewater reused at Guadalupe agriculture	Diversion	1	MT14	M23	none	n/a	Constant	1.3	43
	MT14_M19	El Naranjo WWTP discharge to arroyo El Gallo	Diversion	1	MT14	M19	none	n/a	none	n/a	none
	MT14_SR-ZAM	El Naranjo effluent reused at Zamora reservoir recharge.	Diversion	1	MT14	SR-ZAM	none	n/a	Constant	1.3	14
MT15	MT12_M15	Wastewater from urban demand Ensenada to El Gallo WWTP	Diversion	0.9	M12	MT15	none	n/a	Monthly varying	0.16	166.8
	M15_GW-GP	El Gallo WWTP effluent reused for Guadalupe aquifer recharge	Diversion	1	MT15	GW-GP	none	n/a	Constant	0.48	118
	M15_GW-MAN	El Gallo WWTP effluent reused for Maneadero aquifer recharge	Diversion	1	MT15	GW-MAN	none	n/a	Constant	0.48	51
	MT15_M15	El Gallo effluent for Maneadero irrigation	Diversion	1	MT15	M15	none	n/a	Constant	0.48	41
	MT15_M19	El Gallo WWTP discharge to arroyo El Gallo	Diversion	1	MT15	M19	none	n/a	none	n/a	none
	M15_M23	El Gallo WWTP effluent to Guadalupe agriculture	Diversion	1	MT15	M23	none	n/a	Constant	0.48	118

NODE	Link Name	Link Description	Link Type	Link Amplitude	Location		Lower Bound		Upper Bound		Link cost (\$/dis/1000 m ³)
					Origin node	Destination node	Constraint Type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	Constraint type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	
MT15	MT15_SR-ZAM	El Gallo WWTP effluent reused for augmentation of Zamora reservoir	Diversion	1	MT15	SR-ZAM	none	n/a	Constant	0.48	51
MT16	MT12_M16	Wastewater from urban demand Ensenada to El Sauzal WWTP	Diversion	0.9	MT12	MT16	none	n/a	Monthly varying	Monthly varying constraints. Average 0.16	166.8
	MT16_GW-GP	El Sauzal WWTP effluent reused for aquifer recharge at Guadalupe	Diversion	1	MT16	GW-GP	none	n/a	Constant	0.27	212
	MT16_M23	El Sauzal WWTP effluent reused for agriculture irrigation at Guadalupe	Diversion	1	MT16	M23	none	n/a	Constant	0.27	212
	MT16_M58	El Sauzal WWTP discharge to arroyo 4 Milpas (Sauzal)	Diversion	0.95	MT16	M58	none	n/a	none	n/a	none
MT21	MT16_SR-ZAM	El Sauzal WWTP effluent reused for augmentation of Zamora reservoir	Diversion	1	MT16	SR-ZAM	none	n/a	Constant	0.27	119
	MT12_MT21	Wastewater from urban demand Ensenada to El Sauzal WWTP expansion (future infrastructure)	Diversion	1	M12	MT21	constant	0	Constant	0	166.8
	MT21_GW-GP	El Sauzal WWTP expansion effluent reused for aquifer recharge (Guadalupe groundwater)	Diversion	1	M21	GW-GP	constant	0	Constant	0	none

NODE	Link Name	Link Description	Link Type	Link Amplitude	Location		Lower Bound		Upper Bound		Link cost
					Origin node	Destination node	Constraint Type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	Constraint type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	
MT22	MT21_M58	El Sauzal WWTP (expansion) discharge to Arroyo 4 Milpas	Diversion	1	MT21	M58	constant	0	Constant	0	none
	MT21_SR-ZAM	El Sauzal WWTP (expansion) effluent reused to augment Zamora reservoir	Diversion	1	MT21	SR-ZAM	constant	0	Constant	0	none
	M12_MT22	Wastewater from urban demand Ensenada to El Naranjo WWTP expansion (future infrastructure)	Diversion	1	M12	MT22	constant	0	Constant	0	166.8
	MT22_GW-MAN	Wastewater from El Naranjo expansion (future) to Maneadero aquifer recharge	Diversion	1	MT22	GW-MAN	constant	0	Constant	0	none
	MT22_M15	El Naranjo WWTP expansion (future) effluent to be reused at Maneadero agriculture	Diversion	1	MT22	M15	constant	0	Constant	0	none
MT23	MT22_M19	El Naranjo (expansion) discharge to Arroyo El Gallo	Diversion	1	MT22	M19	constant	0	Constant	0	none
	MT23_M9	Desalinated water to Ensenada urban	Diversion	1	MT23	M9	none	n/a	Constant	0.66	1300
	MT23_Sink_OP	Desalinated water that is NOT used by Ensenada urban	Diversion	1	MT23	Sink_OP	none	n/a	none	n/a	none

NODE	Link Name	Link Description	Link Type	Link Amplitude	Location		Lower Bound		Upper Bound		Link cost (\$dls/ 1000 m ³)
					Origin node	Destination node	Constraint Type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	Constraint type	Constant constraint (Mm ³ /mo.)	
PUMP 9PMP	M50_PUMP9PMP	Link from Colorado river water to pumping station to supply Ensenada water demand	Diversion	1	M50	PUMP9PMP	none	n/a	none	n/a	none
	PUMP9PMP_M9	New aqueduct to Ensenada (250 l/s according to Comision Nacional del Agua)	Diversion	1	PUMP9PMP	M9	none	n/a	Constant	0.75	1500
Sink_ Desalt	M19_Sink_Desalt	Arroyo El Gallo discharge to the ocean	Diversion	1	M19	Sink_Desalt	none	n/a	none	n/a	none
	M58_Sink_Desalt	Arroyo 4 Milpas (Sausal) discharge to the ocean	Diversion	1	M58	Sink_Desalt	none	n/a	none	n/a	none
SR-ZAM	MT14_SR-ZAM	El Naranjo effluent reused at Zamora reservoir recharge.	Diversion	1	MT14	SR-ZAM	none	n/a	Constant	1.31	14
	MT15_SR-ZAM	El Gallo WWTP effluent reused for Zamora Reservoir augmentation	Diversion	1	MT15	SR-ZAM	none	n/a	Constant	0.48	51
	MT16_SR-ZAM	El Sauzal WWTP effluent reused for Zamora Reservoir augmentation	Diversion	1	MT16	SR-ZAM	none	n/a	Constant	0.27	119
	MT21_SR-ZAM	El Sauzal WWTP (expansion) effluent reused for Zamora Reservoir augmentation	Diversion	1	MT21	SR-ZAM	Constant	0	Constant	0	none
	SR-ZAM_M9	Water supply from Zamora reservoir to Ensenada urban	Diversion	1	SR-ZAM	M9	none	n/a	monthly varying	n/a	none

Tabla AI-3. Entradas de flujo al sistema y nodos al que se destinan.

INFLOW NAME	DESCRIPTION	DESTINATION NODE
Source_GW-ENS	Inflows to Ensenada aquifer	GW-ENS
Source_GW-GP	Inflows to Guadalupe aquifer	GW-GP
Source_GW-MAN	Inflows to Maneadero aquifer	GW-MAN
Source_GW-MIS	Inflows to La Mision aquifer	GW-MIS
Source_OVER-ENS	Overdraft for Ensenada urban	ENS-OVER
Source-SR-ZAM	Inflows to Zamora reservoir	SR-ZAM
Source_Desal	Inflows of sea water to desalting plant	MT23
Source RIO COLORADO	Inflows from Rio Colorado to Ensenada urban	M9

ANEXO II

Valor económico del agua de uso urbano y agrícola

ANEXO II. Modelo de demanda agrícola y urbana del agua

En este Anexo se presentan resultados relevantes de los modelos de demanda de agua para usos urbano y agrícola. Las estimaciones de demanda utilizadas por el presente estudio son producto del trabajo en curso para una aplicación de CALVIN en el norte de Baja California cuyos detalles se presentan en Medellín-Azuara et al. (2008) y apéndices.

7.2.1 Modelo de demanda agrícola para Maneadero y Guadalupe

El modelo SWAP (Statewide Agricultural Production model) para Baja California provee valores sombra del uso agrícola del agua en Guadalupe y Maneadero. La Tabla AII-1 muestra los valores sombra del agua por cada mil metros cúbicos. Los valores sombra indican lo que el agricultor está dispuesto a pagar por cada mil metros cúbicos más de agua, para cada nivel de disponibilidad. Aunque el agua aplicada varía por mes, en el modelo se asume que el valor marginal del agua es el mismo para todos los meses como resultado del comportamiento de los agricultores hacia la maximización de ganancias.

Tabla AII-23. Valores sombra del agua en \$dlls/ mil m³.

<i>Disponibilidad (%)</i>	<i>Maneadero (\$ dlls/ 1000 m³)</i>	<i>Guadalupe (\$ dlls/ 1000 m³)</i>
100	72	126
90	93	151
80	115	167
70	164	202
60	289	247

A niveles de plena disponibilidad de agua, los valores sombra del agua para usos agrícolas en Maneadero y Guadalupe son de \$72 y \$126 dólares por cada mil metros cúbicos, respectivamente. Con escasez de agua al sesenta por ciento, este valor sombra puede ser de hasta \$290 dólares por cada mil metros cúbicos. El valor sombra de Maneadero se compara con el obtenido en algunos subdistritos de irrigación en el Valle de Mexicali (ver Medellín-Azuara, 2007), el mayor productor agrícola en Baja California. Sin embargo, el valor sombra o valor económico marginal del agua para Guadalupe es sustancialmente más alto. La Figura AII-1 muestra gráficamente los valores sombras de la Tabla AII-1, el eje horizontal muestra miles de metros cúbicos y no la disponibilidad de agua en porcentaje.

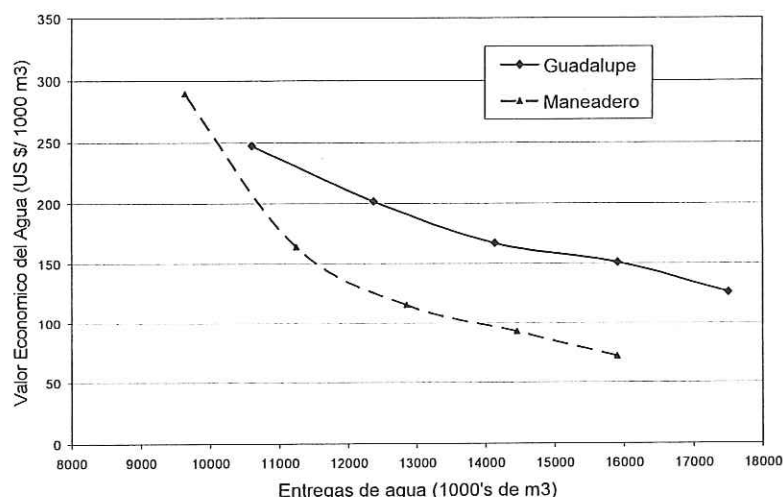


Figura AII-5. Valor económico marginal del agua para la agricultura de Guadalupe y Maneadero.

El rango de valores sombra en Maneadero es más amplio que el de Guadalupe. Esto puede explicarse en parte por el hecho de que Maneadero tiene una demanda con mayor elasticidad precio para todos los niveles de agua (Tabla AII-2). La elasticidad precio de la demanda es una medida de que tan sensible es la demanda de agua a los cambios en los precios. Las estimaciones de la elasticidad de ambos sitios caen dentro del rango de la revisión bibliográfica de Scheierling *et al.* (2006) en donde la elasticidad precio del agua de irrigación promedia -0.48. Sin embargo, reducir la disponibilidad de agua en un 90% a 80% en Maneadero resulta en una respuesta de 1.05. En contraste, Guadalupe parece menos sensible a los cambios de precio dado a que las elasticidades permanecen bajas.

Tabla AII-24. Elasticidad precio de la demanda de agua agrícola.

Disponibilidad (%)	Maneadero	Guadalupe
90	-0.46	-0.32
80	-1.05	-0.45
70	-0.60	-0.30
60	-0.63	-0.19

Los resultados de las demandas agrícolas en Guadalupe y Maneadero muestran que el agua vale para la agricultura más que la cantidad monetaria que paga el agricultor

promedio. A una disponibilidad del 100%, por ejemplo, el valor sombra para Guadalupe es cerca de 126 dólares por miles de metros cúbicos, y sus costos de bombeo (extracción) a penas se balancean con los costos promedios de extracción de agua. Sin embargo, cuando hay una escasez de 20%, la disponibilidad a paga por agua adicional es cerca de 1.3 veces el costo de extracción promedio.

7.2.1 Modelo de Demanda Urbana para Ensenada

Se aplicó un modelo econométrico de demanda de acuerdo a Medellín-Azuara (2007). La Tabla AII-3 muestra el consumo residencial, comercial e industrial durante los años de estudio. Dado que los usos comerciales e industriales son una bajo porcentaje de los usos consuntivos de Ensenada, estos fueron considerados como demandas fijas. En contraste, las series de tiempo del consumo residencial, los datos de clima e información de precios se usaron para estimar la elasticidad precio de la demanda residencial del agua.

Tabla AII-25. Consumo de agua anual por sector en Ensenada, en miles de metros cúbicos (Fuente CESPE 2006).

<i>Tipo</i>	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Comercial	1,252	1,237	1,161	1,255	1,253	1,179
Residencial	12,828	12,835	12,634	12,776	13,278	13,400
Industrial	1,162	1,012	903	846	810	830
<i>Total</i>	15,242	15,083	14,698	14,877	15,341	15,409

El total del consumo residencial se muestra en la Figura AII-6. Se observa que durante los meses cálidos el consumo de agua aumenta ligeramente.

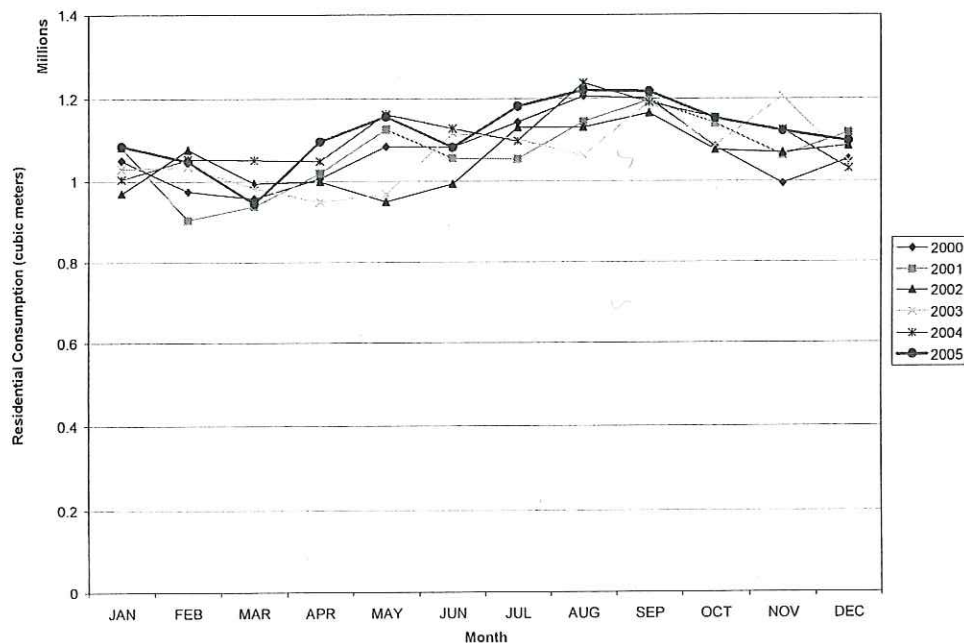


Figura AII-6. Consumo residencial total en Ensenada (Fuente CESPE 2006).

El modelo econométrico usado en este estudio fue una modificación de Nieswiadomy y Molina (1989) con una ecuación de regresión como:

$$Q_t = \beta_0 + \beta_1 P_t + \beta_2 D_t + \beta_3 P_t S_t + \beta_4 S_t + \beta_5 ET_t + u_t \quad (1)$$

Donde, Q_t es el consumo de agua para el hogar promedio en Ensenada en el mes t , P_t es el precio del agua en el último bloque de consumo, D_t es la variable de diferencia Taylor-Nordin (Nieswiadomy and Molina 1989), $P_t S_t$ es la variable para considerar la estacionalidad elasticidad-precio de la demanda (Griffin and Chang 1991); S_t es la variable binaria cuyo valor es uno cuando es un mes cálido (abril-agosto), y la ET_t es la evapotranspiración de referencia.

Los resultados de la regresión se muestran en la Tabla AII-4. De ahí, la elasticidad es obtenida para la ciudad usando la siguiente fórmula para el consumo promedio Q_t al precio marginal correspondiente:

$$\eta_s = \frac{dQ}{dP} * \frac{\bar{P}}{\bar{Q}} \quad (2)$$

Esto se convierte en,

$$\eta_s = (\beta_1 + \beta_3 S) * \frac{\bar{P}}{\bar{Q}} \quad (3)$$

Por tanto, la elasticidad del precio de la demanda es β_1 veces la razón de consumo precio/consumo durante los meses que no son verano y $\beta_1 + \beta_3$ veces la misma razón para los meses de verano. El consumo del hogar promedio se estimó en 15.93 metros cúbicos por mes, el precio marginal a ese nivel de consumo es de 5.71 pesos por metro cúbico. Y la variable S de la ecuación 3 tiene un valor de una unidad para los meses cálidos. Por tanto, de la tabla All-4, la elasticidad para los meses cálidos sería de -0.24 y para los meses que no son de verano es -0.44. Esto implica que si el precio del agua residencial en el bloque de consumo del hogar promedio es aumentado en uno por ciento, el consumo durante los meses cálidos disminuiría en un 0.44 por ciento.

Estas estimaciones son menores a aquellas encontradas en la ciudad de Mexicali (Medellín-Azuara et al.2007). Sin embargo están en el rango inelástico, lo que sugiere que los clientes no responden dramáticamente a pequeños cambios en los precios del agua.

Tabla AII-26. Resultados de la regresión para la ciudad de Ensenada.

Variable	Coeficiente	Error estandard
Constante	17.23**	1.20
Precio Marginal	-0.66**	0.22
Variable Diferencia	-0.12**	0.01
Meses cálidos	3.89**	1.81
Precios marginales * mes cálido	-0.52*	0.31
Evapotranspiración de referencia	0.21	0.20
<i>R-cuadrada ajustada</i>	0.73	
<i>F(4,67)</i>	39.65	
Notas: * Nivel de Significancia 0.10; ** Nivel de significancia 0.05.		

Uso de la elasticidad-precio del agua para estimar curvas de demanda y funciones de penalización

Se generó una curva de demanda de una función de demanda inversa de una elasticidad constante de la forma de la ecuación 4, siguiendo los métodos en James y Lee (1970) y Young (2006):

$$P = Q^{1/\eta} \quad (4)$$

La integración de esta curva de demanda provee costos de escasez como se muestran en la Figura AII-3, usando la formulación en Young (2005):

$$S = \left(\frac{P^* Q^{*1/\eta}}{1 - \frac{1}{\eta}} \right) (Q^{1-1/\eta} - Q^{*1-1/\eta}) - P^* (Q^* - Q') \quad (5)$$

En esta formulación simplificada se asume una forma funcional de la demanda y sólo cuatro puntos de datos se requieren: precio-cantidad (P^*), entregas de agua en ese punto (Q^*), cambio hipotético en cantidad y precio asumido (P' y Q') elasticidad de la demanda (η). En la Figura All-3, el triángulo sombreado bajo la curva de demanda representa la pérdida del excedente del consumidor por, ya sea el cambio de precio P^* a P' , o una oferta disminuyendo de Q^* a Q' . Young (2005) probó que para una función de demanda con elasticidad constante, el cambio en el excedente del consumidor es S en la ecuación 5.

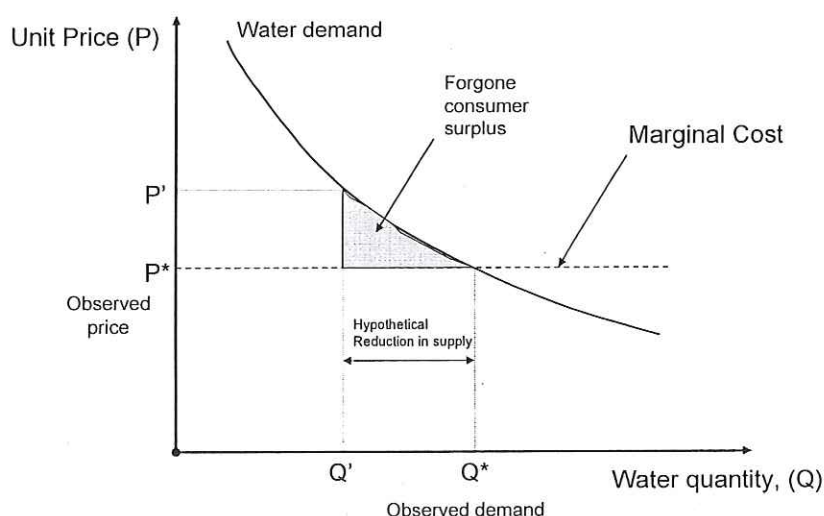


Figura All- 3. Valor del agua residencial -en la fuente, de una función de demanda - en el sitio (adaptada de Young 2005).

De la ecuación 5, se asume que el precio observado P^* corresponde al costo marginal de suplir agua. Una desventaja de esta forma funcional es la suposición de que la respuesta del precio será el mismo en cualquier nivel de precio.

La Figura All-4 muestra las funciones de penalización derivadas.

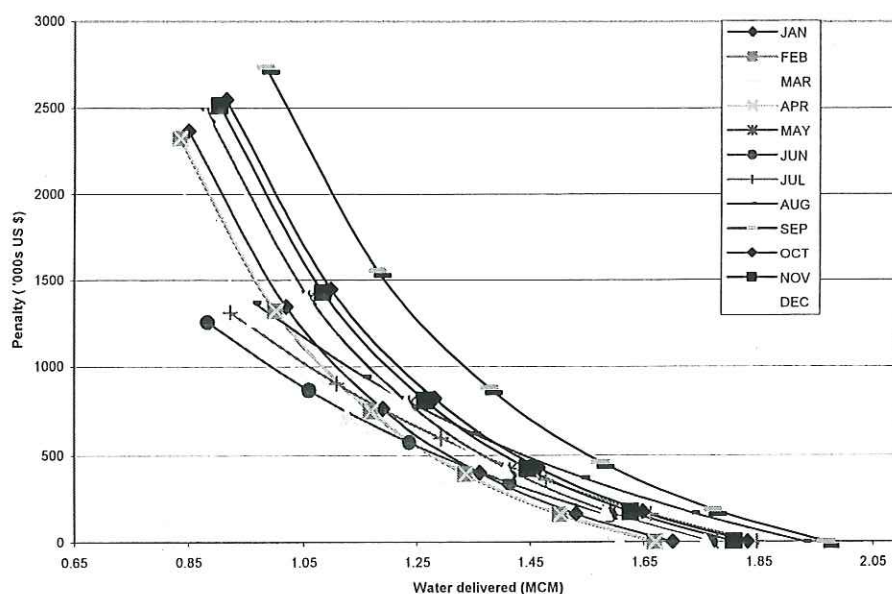


Figura All-4. Funciones de penalización de CALVIN para la ciudad de Ensenada

Los resultados del análisis econométrico para la ciudad de Ensenada muestran que el consumo residencial es en cierta forma sensible a los cambios en precios. Aunque la distinción entre los meses cálidos y no-cálidos parecen tener alguna influencia en el patrón de consumo, la evapotranspiración no parece ser un factor determinante como lo es en otros estudios (e.g. Agthe et al. 1986; Medellin-Azuara et al. 2007). La conversión de las curvas de demanda en funciones de penalización para el modelo CALVIN adaptado para este estudio ofrece metodología para estimar el valor de la escasez para demandas urbanas.

7.2.1 Referencias

- Agthe, D. E., Billings, R. B., Dobra, J. L., and Raffiee, K. (1986). "A Simultaneous Equation Demand Model for Block Rates." *Water Resources Research*, 22(1), 1-4.
- Griffin, R. C., and Chang, C. (1991). "Seasonality in Community Water Demand." *Western Journal of Agricultural Economics*, 16(2), 207-217.
- Medellin-Azuara, J., Lund, J. R., and Howitt, R. (2007). "Water Supply Analysis for Restoring the Colorado River Delta, Mexico." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 133(5), 462-471.
- Medellin-Azuara, J., Mendoza-Espinosa, L. G., Lund, J. R., Waller-Barrera, C., y Howitt, R. E. (2008). "Water Supply for Baja California: Economic-Engineering Analysis for

Agricultural, Environmental and Urban Demands." Draft Report Prepared for the California Environmental Protection Agency, University of California, Davis, Davis, California, USA. Draft January 2008. Disponible en <http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/BajaCALVIN>

Nieswiadomy, M. L., and Molina, D. J. (1989). "Comparing Residential Water Demand Estimates under Decreasing and Increasing Block Rates Using Household Data." *Land Economics*, 65(3), 280-289.

Young, R. A. (2005). *Determining the economic value of water: concepts and methods*, Resources for the Future, Washington, D.C., 374pp.