



REHABILITANDO UNA REGION Y RESUCITANDO UN LAGO

Carlos García Herrera. Comisión Nacional del Agua

Carlos Barocio Fregoso. Comisión Nacional del Agua

Luis López Ortiz. Comisión Nacional del Agua

RESUMEN

En Jalisco en la cabecera del río Santiago y la zona de descarga del río Lerma al Lago de Chapala las actividades antropogénicas han sobreexplotado los recursos naturales y se tiene un alto grado de contaminación. El crecimiento demográfico de la Ciudad de Guadalajara como de las poblaciones aguas arriba del Lago, así como un periodo actual de sequías, han bajado sus niveles a límites históricos. Se teme que si no se toman acciones para dejar de extraer agua del Lago para abastecer a las Ciudad de Guadalajara y evitar que se sigan cortando sus aportes que le llegan por el río Lerma, este puede desaparecer. En este artículo se presenta una proposición en la cual mediante el uso eficiente y el reciclaje del agua se puede cubrir la demanda de la ciudad de Guadalajara sin utilizar como fuente el Lago de Chapala, mantenerlo lleno y anualmente enviar el volumen de evaporación, con lo que se puede resucitar el lago manteniendo sus niveles a un volumen de $5000 \bar{M}m^3/año$, rehabilitar niveles de los acuíferos, efectuar bancos de agua para hacer sustentable la región y abastecer la demanda de agua a Guadalajara en los próximos 25 y quizá 50 años.

Para obtener nueva disponibilidad de agua se propone traer agua del río Verde y utilizar el agua residual lo que hace necesario sanear los tiraderos de residuos sólidos municipales y tratar el agua residual a nivel terciario. Será necesario reforestar y revegetar las cañadas de los ríos Verde y Santiago (Oblatos) para aprovecharlas para el turismo.

Palabras clave: Eficientar el uso del agua, reciclar o reusar el agua, demanda, descarga.

1.0 INTRODUCCIÓN

El Lago de Chapala recibe su aporte de agua del río Lerma. El crecimiento de las ciudades y las actividades agrícolas aguas arriba del mismo ha dado como resultado que en años secos y en años en años medio su aporte sea casi nulo, por lo que de $8500 \bar{M}m^3$ de capacidad (elevación del vertedor 1523.9 msnm) se mantiene desde hace varios años en 1100 a $1300 \bar{M}m^3$. La evaporación del lago a $8500 \bar{M}m^3$ es de $1800 \bar{M}m^3/año$.

La Ciudad de Guadalajara recibe el 50 % de su abastecimiento del Lago de Chapala y para evitar que se siga desecando el Lago tiene que dejar en el corto plazo de utilizarlo substituyendo esta fuente con el río Verde.

Por lo tanto se requiere obtener recursos para llenar el Lago de Chapala, reponer cada año el volumen de agua que se evapora y abastecer la demanda de agua a Guadalajara. Se debe mantener el lago lleno a la cota 1523.9.

En este artículo se proponen varios proyectos para lograr mantener las condiciones demandadas por el abastecimiento a la ciudad de Guadalajara y mantener lleno el Lago de Chapala. Se propone además acciones para rehabilitar la región.

2.0 ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CIUDAD DE GUADALAJARA

Guadalajara la capital del Estado de Jalisco tiene una población de 4 millones de habitantes y de 500×10^6 en sus zonas conurbadas. Se encuentra a una elevación media de 1500 msnm. Se surte de agua de varias fuentes superficiales y subterráneas que son las siguientes:

Del Lago de Chapala	237
Acuíferos	186
Río Calderón	66
Pozos uso industrial	32
	521 $\bar{M}m^3/\text{año}$

La Ciudad de Guadalajara pierde del 32 al 38 % del agua en bloque que recibe, en sus redes de distribución municipal y en las redes de alimentación de edificios y casas habitación.

El abastecimiento actual a Guadalajara es de $521 \bar{M}m^3/\text{año}$, al suprimir la dotación de Chapala, la cantidad que queda de $284 \bar{M}m^3/\text{año}$ no alcanza para abastecer la demanda de agua potable por lo que se tendrá un déficit de $521-284 = 237 \bar{M}m^3/\text{año}$. La dotación actual a la Ciudad de Guadalajara es de $521 \bar{M}m^3/\text{año}$ que dividida entre 4 millones de habitantes nos da un volumen 400 (lxhxd) lo que es muy elevada, pero es una dotación nominal. En tal situación y tomando como factor de pérdidas 32 %, aplicándolos a la dotación que recibe en bloque de $521 \bar{M}m^3/\text{año}$ (dotación nominal), se tienen pérdidas de $157 \bar{M}m^3/\text{año}$ lo que da una dotación real entregada a los usuarios de $364 \bar{M}m^3/\text{año}$, que equivale a 264 litros por habitante por día (lxhxd).

Las proposiciones para abastecimiento de agua a Guadalajara

El abastecimiento a futuro a corto y mediano plazo considera dos tipos de acciones que son las siguientes:

- Aumentar la disponibilidad del agua
- Reordenar la disponibilidad del agua

Aumentar la disponibilidad

Las fuentes a futuro para aumentar la disponibilidad del agua que se tiene para Guadalajara son las siguientes:

Tabla No. 1

DESCRIPCIÓN	DISPONIBLE	32 % FUGAS	Drcf*
Río Verde	372	119	253
Río Juchipilas	128	41	87
Agua residual	288	92	196
TOTALES:	901 nominal	252	536 real

* Dotación nominal – fugas = dotación real = Drcf

Fuente Río Verde

La Ciudad de Guadalajara tendrá que dejar de obtener agua del Lago de Chapala para ayudar a la conservación de este cuerpo de agua. Para substituir esta fuente se tendrá que importar agua para aumentar la disponibilidad de la cuenca. Por lo tanto debido a esa condición, se proyecta la construcción de una presa de almacenamiento en el río Verde para el aprovechamiento de $372 \bar{M}m^3/\text{año}$ de la cuenca de este río afluente del Santiago. El estudio, proyecto, licitación, construcción y puesta en marcha de una obra de esta magnitud, si se efectúa de manera eficiente, requiere a partir del año 2002 de 6 años para realizarse, por lo que antes del año 2008 no estará disponible.

Río Juchipilas

Este río confluye al río Santiago en la cota 800 msnm, con una cuenca de 15,000 km² abarcando los Estados de Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco. Tiene un escurrimiento virgen de 320 $\bar{M}m^3/año$ y quedan disponibles actualmente 128 $\bar{M}m^3/año$. Se aprovechan en Aguascalientes 160 $\bar{M}m^3/año$ y se requieren 32 $\bar{M}m^3/año$ para gasto ecológico.

Agua residual.

Se tienen actualmente 11 m³/s (352 $\bar{M}m^3/año$) de descargas de aguas residuales de la ciudad de Guadalajara. Esta agua residual se puede captar a la cota 1450 llevándola hacia el W de Guadalajara para tratarla a nivel terciario, recargándola en los acuíferos, extrayéndolas 2 años después y para enviarla para abastecimiento Municipal a Guadalajara. También se puede intercambiar con agua utilizada en la agricultura sin recargarla al subsuelo, por lo que estaría disponible dos años antes. Se puede utilizar, también, para aumentar el volumen del embalse de Chapala.

Reordenamiento de la disponibilidad del agua

Las acciones para reordenar la disponibilidad del agua son las siguientes:

- Rehabilitar los pozos de extracción de agua y sectorizar los sistemas de distribución. La extracción actual de agua subterránea es inferior al volumen concesionado por lo que se infiere que estos pozos están trabajando ineficientemente en su extracción y con alto consumo de energía eléctrica. La falta de sectorización produce fugas por sobrepresiones y deficiencias en la distribución.
- Eliminar el 80 % de las fugas en los sistemas de abastecimientos de redes municipales más tomas domiciliarias y redes de las casas, que son del orden del 32 % de la dotación (91 $\bar{M}m^3/año$)
- Abatir el consumo de 264 a 200 l/hxd mediante mecanismos ahorradores de agua, políticas públicas de cultura del agua, eliminación de subsidios. Se disminuye el consumo en (72.8 $\bar{M}m^3$)
- Modernizar 30,000 ha de riego recuperando agua para uso en Guadalajara (224 $\bar{M}m^3/año$)

Resumen de acciones propuestas

El abastecimiento a la ciudad de Guadalajara se plantea en dos escenarios:

Empleando el aumento de la disponibilidad del agua río Verde + río Juchipilas + agua residual (tabla 1).

Empleando el aumento del reordenamiento de la disponibilidad más el aumento de la disponibilidad (tabla 2).

1. Abastecimiento a la Ciudad de Guadalajara considerando los proyectos de aumento de la disponibilidad de agua (valores en millones de m³)

Tabla No. 2

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2025
Dotación sin Chapala	284	284	284	284	284	284	284	284	284
Dotación río Verde						372	372	372	372
Dotación río Juchipilas								128	128
Aguas residuales intercambiando con agricultura				352	356	360	364	368	428
Dotación disponible	284	284	284	636	640	1010	1020	1152	1198
Dotación necesaria	521	527	533	539	545	551	557	563	646
Déficit-oferta	-237	-243	-249	+ 97	+ 95	+ 465	+ 463	+ 589	+ 552

2. Empleando el aumento de disponibilidad y el reordenamiento de la disponibilidad (en millones de m³)

Tabla No. 3

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2025
Dotación sin Chapala	284	284	284	284	284	284	284	284	284
Dotación río Verde						372	372	372	372
Dotación río Juchipilas								128	128
Aguas residuales intercambiando con agricultura				352	356	360	364	368	428
Suprimir fugas			18	36	55	73			
Eficienciar 30,000 Ha de la agricultura	237	228	228	228	228			114	114
Dotación disponible	284	512	530	900	1033	1169	1173	1206	1326
Dotación necesaria	521	527	509	491	473	449	425	431	521
Déficit-oferta	-0	-15	+ 21	+ 409	+ 560	+ 720	+ 748	+ 775	+ 805

Conclusiones

- Se concluye que al dejar de utilizar como fuente de abastecimiento el agua proveniente del Lago de Chapala es necesaria substituir este volumen por otras fuentes. Las de más corto plazo son:
 - Pagarle en 2003, cosechas de 16,000 Ha a los agricultores para obtener 284 su agua concesionada con un volumen de $\bar{M}m^3/año$
 - Modernizar 30,000 Ha de riego del Distrito Jalisco para obtener $224 \bar{M}m^3/año$ del año 2004 en adelante.
 - Construir el sistema del río Verde para obtener $374 \bar{M}m^3/año$ a partir del año 2008.
 - Suprimir 80 % fugas para tener disponibilidad de $76 \bar{M}m^3/año$ y reducir consumo de agua en 60 litros por habitante día lo que reduce el consumo actual en $96 \bar{M}m^3/año$
 - Utilizando todas las fuentes para aumentar y reordenar la disponibilidad del agua se podrían enviar $400 \bar{M}m^3$ al Lago de Chapala en el 2006 y a partir del 2009 del orden de $800 \bar{M}m^3/año$
 - Retener el agua residual al nivel 1450, tratarla a nivel terciario.
 - Cambiar la operación de la planta de Agua Prieta de hidroeléctrica a planta de picos (de rebombeo) con agua del río Santiago-Verde.

3.0 ALTERNATIVAS PARA MANTENER EL LAGO DE CHAPALA A NIVEL DEL CIMACIO DEL VERTEDOR (523.90)

La problemática del Lago de Chapala

El llenado del Lago y él mantenerlo lleno es muy costoso de resolver mediante el traslado de agua de otras cuencas, ya que el volumen requerido para pasar de los $1200 \bar{M}m^3/año$ que tienen el lago actualmente a 8500 y enviar anualmente $1800 \bar{M}m^3/año$ para reponer el agua evaporada es enorme y no es necesario en años de precipitación arriba de la media (años húmedos). En periodos húmedos puede inclusive no necesitarse. La evaporación en el Lago de Chapala es variable de acuerdo a las hectáreas de lámina de agua que tenga (tabla 4).

Evaporación en Chapala a diferentes elevaciones

Tabla 4

Elevación lago m.s.n.m.	Área Ha	Mm ³ almacenados	Mm ³ evaporados
1523.90	80,000	8,000	1800
1522.20	60,000	6,000	1350
1521.30	50,000	5,000	1125
1520.30	40,000	4,000	900
1518.20	20,000	2,000	450
1517.00	10,000	1,000	225

Debido a los costos de la infraestructura necesaria para llevar 1800 Mm³/año equivalente a la evaporación del Lago de Chapala, a la cota del vertedor que es la 1523.90 es más conveniente reducir el área de evaporación para llevar una cantidad menor de agua para evaporación, por ejemplo de 50,000 ó 60,000 Ha con evaporación de 1125 y 1350 Mm³/año. Se tiene la problemática que a cotas inferiores a las de 1523 el agua se aleja de la infraestructura turística, por lo que una de las condiciones deseables es que el lago permanezca a cota altas y de preferencia al nivel del vertedor (1523.90).

Alternativas para proporcionar al Lago de Chapala agua para evaporación

Se plantean las tres alternativas que se describen a continuación:

A.- Traer agua del río Bolaños afluente del río Santiago y agua de la presa Santa Rosa.

Del río Bolaños, regulándolo con una presa de 120 m de altura se puede derivar 700 Mm³/año ($\pm 22 \text{ m}^3/\text{s}$) a la cota 780 msnm, para llevarlo al NAME de la presa Sta. Rosa en el río Santiago por gravedad. Desde la presa Sta. Rosa se pueden extraer los 700 Mm³/año del río Bolaños más 800 Mm³/año del río Santiago lo que suma 1500 Mm³/año para llevarlos a Chapala en la cota 1550 msnm.

Para llevar 1800 Mm³/año de agua de la presa Sta. Rosa al Lago de Chapala se tiene que vencer un desnivel de 750 m y construir 4 acueductos de 3 m de diámetro y 90 km de longitud y no bombear en horas pico. Para obtener recursos para el pago de la energía eléctrica se propone que se construyan cuatro plantas hidroeléctricas de rebombeo cercanas a la presa Sta. Rosa.

Con el volumen de 1800 Mm³/año se puede generar energía de pico y comercializar ésta. Este caudal se llevaría a una central de generación a través de plantas de bombeo. Todo ello con equipos estándar y con costos de inversión cercanos a los \$ 2400 usd /kW instalado. Se tiene un sistema existente de transmisión de energía eléctrica interconectado a la red nacional de transmisión el cual puede proporcionar la energía de rebombeo, la energía generada podrá ser conectada a la línea de transmisión existente de la CFE.

Se genera en el del periodo de punta, el cual está definido entre las 13:00 -17:00 horas y de las 20:00 a las 23:00 horas de lunes a viernes. El agua se elevaría con energía de media noche 0:30 horas a 6:00 horas del día siguiente. Con una energía cuyo costo promedio es de alrededor de 32 centavos / kWh, teniendo la siguiente distribución:

Distribución Mensual del Costo de Electricidad						
	\$/kWh año 2002					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
E. Base	0.32	0.31	0.29	0.29	0.30	0.30
E. Punta	0.92	0.90	0.84	0.83	0.86	0.87

La generación se basaría en bombeo, operando en periodos de energía punta con 700 a 800 m de caída bruta (carga), con cuatro centrales de 100 MW cada una, generando en periodos de punta. La diferencia entre ambas energías debe pagar, el costo de la infraestructura su operación y las ganancias se utilizan para pagar parte de la energía eléctrica para la elevación de agua a Chapala.

B.- Modernizar 120,000 ha de agricultura de riego para obtener $900 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$, reducir el Lago a 50,000 Ha, utilizar el agua residual de Guadalajara.

B1.- Eficientar o modernizar 120,000 Ha, la agricultura en distritos de riego para transferir $900 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$ al Lago de Chapala. Se pueden llevar al Lago de Chapala $900 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$ eficientando la agricultura de riego del Bajo Lerma.

B2.- Utilizar el agua residual de Guadalajara tratándola a nivel terciario para enviarla a Chapala. Actualmente se tienen $332 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$ y esta ira aumentando a medida que crezca la población.

B3.- Reducción de la evaporación en el Lago de Chapala. Formación de bordos dentro del lago con 2.4 m de alto en promedio con una longitud de 80 Km. para producir recintos-isla huecos con capacidad de 30,000 ha. Estos recintos se llenarían en años abundantes de lluvias y permanecerían vacíos en épocas de sequía extrema.

Por lo tanto con estas tres acciones (B1, B2 y B3) se podrían enviar al Lago de Chapala $900 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$ de la agricultura más $332 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$ de agua residual tratada lo que suma $1,232 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$ y con los islotes-recinto reducir la evaporación a $1125 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$ a lago lleno (con $5000 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$) más mantener la capacidad de almacenamiento de $8500 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$ (a la cota 1523.9) para años de precipitación extrema.

C.- Enviar el agua residual de la cuenca y de cuencas externas.

En el Alto y Medio Lerma se descargan 900×10^6 de aguas residuales. Si esta agua residual se trata a nivel terciario se puede conducir al Lago de Chapala y el sumarle el agua residual de Guadalajara ($332 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$) se obtienen $1232 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$, con lo cual se puede surtir el agua para evaporación con el lago con una lámina de agua de 60,000 Ha. En épocas de abundancia cuando no se necesite agua en Chapala, el excedente se puede recargar a los acuíferos cercanos a las plantas de tratamiento con lo que se tendrá agua para años de sequía extrema o para recuperar acuíferos sobreexplotados.

4.0 LLENADO DEL LAGO A UN VOLUMEN DE $5000 \bar{\text{Mm}}^3$

Para resucitar el lago es necesario llenarlo y proporcionarle anualmente el agua que se evapora más la necesaria para el gasto ecológico en el río Santiago. Además se debe cubrir la demanda de agua a Guadalajara y su zona conurbada sin usar al Lago de Chapala como fuente de abastecimiento. Todo lo anterior sin depender de los escurrimientos del río Lerma, los cuales son utilizados aguas arriba del lago y principalmente en el Estado de Guanajuato. El volumen requerido es el siguiente:

Demanda en Guadalajara	$584 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$
Evaporación con $5000 \bar{\text{Mm}}^3$ (50,000 Ha de lago)	$1150 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$
Volumen anual requerido para llenarlo en 5 años	$900 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$
Demanda anual	$2630 \bar{\text{Mm}}^3/\text{año}$

Actividades propuestas para abastecer Guadalajara, llenar el Lago de Chapala y proveer el volumen para evaporación a lago lleno anualmente.

Tabla 6

DESCRIPCION	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Dotación Guadalajara sin Chapala	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284
Agua río Verde						372	372	372	372	372
Aguas residuales a Chapala				352	352	352	352	352	352	352
Suprimir fugas			18	36	54	72	72	72		
Pagar cosecha 20,000 Ha.	224									
Eficientar 30,000 Ha		224	224	224	224	224	224	224	224	224
Eficientar 60,000 Ha anuales			224	224	224	224	224	224	224	224
Eficientar 120,000 Ha.				448	896	896	896	896	896	896
Escurrimiento cuenca*	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Oferta	748	748	990	1808	274	2664	2664	2264	2264	2264
Demanda	2630	230	2630	2630	2630	2630	2630	2630	2630	2630
Balance	-1882	-1882	-1640	-822	-356	34	34	34	34	34
Llenado del vaso acumulado										

*La extracción de $224 \bar{Mm}^3$ de agua de Chapala a Guadalajara es cercano al escurrimiento de la cuenca propia del Lago de Chapala, que se considera de $240 \bar{Mm}^3/año$ los cuales quedarían dentro del lago al suprimir el abastecimiento a Guadalajara.

Considerando que el lago al inicio de los proyectos tiene $1600 \bar{Mm}^3$ y que las demandas que se tienen son:

Demanda de Guadalajara	$584 \bar{Mm}^3/año$
Evaporación de lago	$1150 \bar{Mm}^3/año$
	$1734 \bar{Mm}^3/año$

El agua en exceso que se lleve al lago después de cubrir la demanda a Guadalajara y evaporación servirán para el llenado a $5000 \bar{Mm}^3/año$ (60,000 Ha).

Programa de llenado del Lago de Chapala a partir del año 2006

Tabla 7

ACTIVIDAD	AÑOS						
	06	07	08	09	10	11	12
Demanda	1734	1734	1734	1734	1734	1734	1734
Oferta	1808	2274	2664	2664	2664	2664	2664
Llenado	74	540	930	930	930	930	930
Acumulativo llenado	74	1614	1544	2544	3474	4404	5334

Considerando la proposición B cuyo balance se presenta en LA TABLA 7 se tiene que al año 2010 se tendría el lago a $5000 \bar{Mm}^3$. Considerando que no le llegan aportes de agua por el Lerma, que en los años 04 a 010 la evaporación sea de $1150 \bar{Mm}^3/año$ (será menor la evaporación debido a que el área con agua es menor a 60,000).

En el caso de la proposición A trayendo $1800 \bar{Mm}^3/año$ de otras cuencas, el agua del río Verde y la precipitación sobre la cuenca del lago se necesitarían, bajo la condición de reducir el área del lago a 60,000 Ha, eficientar 30,000 Ha para obtener $224 \bar{Mm}^3/año$ durante 6 años del 2006 al año 2012.

El caso C se considera difícil de concretar, por razones políticas entre estados.

5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es necesario tratar toda el agua residual de Guadalajara a nivel terciario y reusarla.

Sanear la barranca de Oblatos de la gran cantidad de tiraderos de residuos sólidos municipales e industriales a cielo abierto.

Abastecer a Guadalajara con el río Verde, eliminar el 90 % de las fugas, bajar el consumo por día por habitante a 200 l.

Modernizar 180,000 Ha de riego para abastecer Guadalajara y llenar el Lago de Chapala. Una vez llenado el lago utilizar el agua liberada de la agricultura para recargar acuíferos ($900 \text{ M m}^3/\text{año}$ a partir del año 2013).

La barranca de Oblatos y del río Verde se debe declarar áreas naturales protegidas y canalizar inversiones para que se conviertan en parques nacionales para turismo cinegético, turismo de esparcimiento y turismo ecológico. En esta barranca es necesaria reforestar todas las área con vocación forestal y revegetarla para permitir una mayor infiltración del agua.

- Como en la cuenca existen periodos secos y periodos muy húmedos en estos últimos el agua sobrante se puede utilizar para recarga de acuíferos desde los acueductos que llegan a Chapala con lo que se lograría rehabilitar estos recursos que están altamente degradados y se tendrán bancos de agua para las generaciones futuras.

Con las acciones propuestas se puede resucitar el Lago de Chapala, rehabilitar ecológicamente la región, abastecer la demanda de la ciudad de Guadalajara y darle sustentabilidad a largo plazo a la región.